



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för skogens biomaterial och  
teknologi

# Beräkningsmodell för transportkapacitet för rundvirkesbilar – Vidareutveckling av beslutstödet NETRA

*Calculation model for transport capacity for timber trucks –  
Development of the decision support system NETRA*

Martin Permångs



Examensarbete • 30 hp

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2019:12

Umeå 2019



# Beräkningsmodell för transportkapacitet för rundvirkesbilar – Vidareutveckling av beslutstödet NETRA

*Calculation model for transport capacity for timber trucks – Development of the decision support system NETRA*

Martin Permångs

**Handledare:** Dan Bergström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
**Bitr. handledare:** Björn Edlund, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
**Examinator:** Emanuel Erlandsson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

**Omfattning:** 30 hp  
**Nivå och fördjupning:** Avancerad nivå, A2E  
**Kurstitel:** Master thesis in Forest sciences at Department of Forest Biomaterials and Technology  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
**Kurskod:** EX0832  
**Program/utbildning:** Jägmästarprogrammet

**Utgivningsort:** Umeå  
**Utgivningsår:** 2019  
**Serietitel:** Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi  
**Delnummer i serie:** 2019:12  
**Omslagsbild:** Martin Permångs  
**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Transportkapacitet, transportarbete, transportkapacitetsmodell, virkestransporter

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
Fakulteten för skogsvetenskap  
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi



## Sammanfattning

Vid användning av transportoptimering för att maximera det ekonomiska nettot vid destinerings av virke från virkeskälla till virkesmottagare blir transportavståndet nödvändigtvis inte minimerat. Detta då till exempel mottagarens pris kan styra virkesaffärer till längre transporter. Beroende på förändringar i marknadsförutsättningar kan destinering av virke till olika mottagare förändra transportavståndet. Eftersom transportavståndet påverkar behovet av transportarbete är det viktigt att veta hur virkesaffärerna påverkar transportbehovet vid destinering av virke.

Syftet med denna studie var att vidareutveckla beslutsstödet NETRA med en funktion för att kunna beräkna tillgänglig transportkapacitet för att sedan jämföra det mot kapacitetsbehovet vid optimalt virkesflöde. Modellens noggrannhet validerades genom ett test där beräknat behov av transportkapacitet jämfördes mot faktiskt utförda transporter. Modellen implementerades sedan i Norra Skogsägarnas beslutsstöd NETRA (NEgotiation and TRANsport planning modell). NETRA är utvecklat i Microsoft Excel.

Transportkapacitetsmodellens beräkningar baseras på volymer och medeltransportavstånd från optimeringsförslag, indata från användaren om antal lastbilar, skiftform och lastbilarnas geografiska verksamhetsområde. Beräkningsresultaten från modell visualiseras i en skapad kartfunktion i Excel för att snabbt ge användaren en uppfattning om det finns över- eller underkapacitet i något geografiskt område eller hos ett specifikt åkeri.

Analyser av testet visade en överskattning av transportkapaciteten i medeltal per vecka och lastbil med 5,2%, vilket enligt Norra Skogsägarna är en godtagbar nivå för denna typ av beslutsstöd.

Den nya studien som gjorts med NETRA har genom tillägget av transportkapacitetsfunktionen skapat möjligheter för Norra Skogsägarna att beräkna behovet av transportkapacitet som kan jämföras med tillgänglig transportkapacitet.

Nyckelord: Transportkapacitet, transportarbete, transportkapacitetsmodell, virkestransporter

## Abstract

When using transport optimization to maximize the economic net value for the destination of wood from wood source to wood receiver, the transport distance is not necessarily minimized. For example, the recipient's price and changes in market conditions, the destination of wood for different recipients can facilitate longer transport distances compared to a cost-minimizing optimization. Since the transport distance affects the need of transport capacity (tonkm), it is important to know how the wood businesses affect the need of transport capacity in the destination of wood.

The purpose of this study was to further develop the decision support NETRA with a function to calculate available transport capacity and compare it to the capacity requirement at optimal wood flow. The accuracy of the model was validated by a test where the estimated need for transport capacity was compared with actual transports performed. The model was then implemented in Norra Skogsägarnas decision support NETRA (NEgotiation and TRAnsport planning model). NETRA is developed in Microsoft Excel.

The transport capacity model's calculations are based on volumes and average transport distances from optimization proposals, input from the user about the number of trucks, the form of working shifts and the geographical working area of the trucks. Results are then visualized in maps created in Excel which quickly give the user an idea of whether there is any over- or under capacity of transport capacity in any of the geographical area or at a specific haulage company.

The analysis of the test showed an overestimation of the transport capacity on average per week and truck by 5.2%, which according to Norra Skogsägarna is an acceptable level for this type of decision support.

The new study with NETRA has, through the addition of the transport capacity function, created opportunities for Norra Skogsägarna to calculate the need for transport capacity that can be compared with available transport capacity.

Keywords: Transport capacity, transport output, transport capacity model, wood transport

## Förord

Denna studie är ett examensarbete gjort inom ramen för jägmästarprogrammet vid Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Studien är utförd på uppdrag av Norra Skogsägarna med syfte att vidareutveckla beslutsstödet NETRA med en funktion för transportkapacitet.

Jag vill tacka de personer som varit med och bidragit med hjälp och stöd under arbetets gång. Jag vill särskilt tacka mina handledare Dan Bergström och Björn Edlund. Ett stort tack till värdföretaget Norra Skogsägarna för att jag fått möjligheten att utföra detta arbetskrävande, intressanta och lärorika examensarbete.

Järvsö, januari 2019

*Martin Permångs*





# Innehållsförteckning

|          |                                    |           |
|----------|------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inledning</b>                   | <b>7</b>  |
| 1.1.1    | Transportkapacitet                 | 8         |
| 1.1.2    | Studier inom ämnet                 | 9         |
| 1.1.3    | NETRA                              | 10        |
| 1.1.4    | Norra Skogsägarna                  | 12        |
| 1.2      | Problemformulering                 | 12        |
| 1.3      | Syfte och mål                      | 13        |
| 1.4      | Avgränsningar                      | 13        |
| <b>2</b> | <b>Material och metoder</b>        | <b>14</b> |
| 2.1      | Arbetets huvudsteg                 | 14        |
| 2.2      | Fallstudie                         | 14        |
| 2.3      | Insamling av datamaterial          | 15        |
| 2.3.1    | Indata till modell                 | 15        |
| 2.3.2    | Modellering                        | 17        |
| 2.4      | Validering                         | 18        |
| 2.4.1    | Indata validering                  | 18        |
| 2.4.2    | Valideringens utförande            | 19        |
| 2.5      | Implementering av modellen i NETRA | 20        |
| 2.5.1    | Indata till NETRA                  | 20        |
| <b>3</b> | <b>Resultat</b>                    | <b>22</b> |
| 3.1      | Matematisk modell                  | 22        |
| 3.2      | Validering                         | 23        |
| <b>4</b> | <b>Diskussion</b>                  | <b>33</b> |
| 4.1      | Metoddiskussion                    | 33        |
| 4.1.1    | Modell                             | 33        |
| 4.1.2    | Validering                         | 33        |
| 4.2      | Resultatdiskussion                 | 34        |
| 4.2.1    | Modell och validering              | 34        |
| 4.2.2    | NETRAS nya utformning              | 38        |
| 4.3      | Behov av vidare studier            | 41        |
| 4.3.1    | Modell                             | 41        |
| 4.3.2    | NETRA                              | 41        |
| 4.4      | Slutsatser                         | 42        |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>Referenslista</b> | <b>44</b> |
| <b>Bilaga 1</b>      | <b>47</b> |

# 1 Inledning

Transporter av produkter från skogen och skogsindustrier utgör en betydande del av transportarbetet inom den svenska transportsektorn. Av det totala transportarbetet för inrikestransporter med lastbil och tåg, mätt i transporterad godsvikt (ton) per körd sträcka (km) som ger antalet s.k. tonkm (tkm), stod skogssektorn för cirka 22% år 2014. Under 2016 utgjorde transporter av rundvirke 39 273 miljoner tkm vilket motsvarar cirka 10% av det totala transportarbetet av inrikestransporter med lastbil (Trafikanalys, 2017). En studie av Andersson & Frisk (2013) visar att de officiella siffrorna från Trafikanalys underskattar transportarbetet med drygt 30% vilket innebär att det verkliga transportarbetet överskrider 50 000 miljoner tkm per år. Transportarbete är direkt kopplat till transportavstånd och lastvikt på fordonen (Fjeld & Dahlin, 2017) och därmed ökar transportarbetet med ökat transportavstånd. Avståndet mellan skog och industri har därför en betydande påverkan på anskaffningskostnaden för virke (Carlsson & Rönnqvist, 2004).

Industrins råvarukostnad för virkestransporter utgjorde år 2017 i medeltal 16,6% av totala råvarukostnaden för södra Sverige och 17,6% i norra Sverige. Medelkostnaden för industrins virkestransporter för timmer och massaved var år 2017 för norra Sverige 84 kr/m<sup>3</sup>fub och för södra Sverige 80,2 kr/m<sup>3</sup>fub. Drivningskostnaden vid föryngringsavverkning var år 2017 97 kr/m<sup>3</sup>fub och vid gallring 183 kr/m<sup>3</sup>fub för norra Sverige och 92 respektive 200 kr/m<sup>3</sup>fub i södra Sverige (Eliasson, 2018).

Vid optimering av virkestransporter används vanligtvis beräkningsmodeller för att minimera transportkostnaderna (Shen, 1978; Dykstra, 1984). Om en modell tillämpas som maximerar nettot från virkesaffären, som till exempel Norra skogsägarna gör, kan det leda till att transportkostnaden inte blir minimerad då priset på virke kan göra att transporter utförs på långa avstånd till en kund som betalar bra för virket (Bergdahl et al., 2003). Anledningen till att en sådan modell används är att skogsägarföreningarna normalt vill maximera det ekonomiska nettot från virkesförsälj-

ningar för medlemmarnas räkning oavsett vad transportkostnaden är, medan ett företag som äger både skog och industri istället vill minimera transportkostnaderna för virkesanskaffningen då de redan är ägare av virket.

Utförs transportoptimering för att maximera det ekonomiska nettot från virkesaffärer, är det nödvändigt att ta hänsyn till hur tillgänglig transportkapacitet förändras med optimeringarna. Detta för att veta om affären och transporterna är genomförbara utifrån tillgänglig transportkapacitet. Transportkapacitet i sammanhanget avser tillgängliga tkm under en viss tidsintervall baserat på kontrakterade åkerier och externa tillgängliga transportörer. Eftersom massaved är en produkt som normalt inte apteras i specifika längder för att passa en specifik mottagare är det lättare att efter upparbetning ändra mottagande destination (Dahlin & Fjeld, 2004). Det gör att transportoptimering kan användas även fast virket är upparbetat för denna typ av produkt.

I Norrland var under 2014 medeltransportavståndet för rundvirkestransporter med lastbil 100,2 km för timmer och 96,6 km för massaved, jämfört med Götaland och Svealand där medeltransportavståndet var 82,3 km respektive 92,8 km för timmer och 95,2 km respektive 90,5 km för massaved (Asmoarp & Davidsson, 2016). Vid maximering av det ekonomiska nettot från virkesaffärer är det extra viktigt att veta hur affärer med ökande medeltransportavstånd påverkar transportarbetet och tillgänglig transportkapacitet. Detta eftersom de virkesmottagande kundernas pris kan styra en skogsägarförening till att göra affärer med långa medeltransportavstånd.

### 1.1.1 Transportkapacitet

Förändringar i strukturen av Sveriges skogssektor har lett till ökad årsförbrukning av rundvirke per industri. Med ökad virkeskonsumtion ökar även medeltransportavståndet då upptagningsområdet ökar som i sin tur leder till ökat transportarbete (Hedlinger et al., 2005).

Vid planering av virkesflöden och destinerings av virke bör begränsningar i transportkapacitet beaktas. Bland annat genom begränsningar i: lastbilskapacitet, vägnätets standard, leveranstider och begränsad körtid (Francois et al., 2017).

Transporterad mängd virke mäts normalt i ton eftersom det är viktbegränsning i dagens infrastruktur som styr hur mycket lastbilarna kan transportera. Transportarbete i tkm beräknas genom att multiplicera nyttolasten med lastad körd sträcka. För att

veta hur mycket en transportenhet kan transportera per tidsenhet är ett sätt att använda sig av transportkapaciteten i termer av transportarbete per timme (tkm/h) där tiden anges i effektiv arbetstid, dvs. den tiden som lastbilen utför produktivt arbete i form av lastning, lossning, transport fullastad och framkörning olastad. Transportkapacitet kan förenklat beräknas genom att laststorleken (ton) multipliceras med medeltransportavståndet (km) per timme (inkl. lastad och olastad körning). För att få en fullständig beräkning bör också hänsyn tas till terminaltid (lastning, lossning) samt korrigeras med lastbilens tekniska utnyttjandegrad (Fjeld & Dahlin, 2017). Teknisk utnyttjandegrad är kvoten av tiden då lastbilen används i produktivt arbete (effektiv arbetstid) i förhållande till chaufförernas schemalagda arbetstid.

Enligt beräkningar av Fjeld & Dahlin (2004) har en tvåskiftsbil vid 80 km i medeltransportavstånd en transportkapacitet på 3,95 miljoner tkm/år. Det beräknat per kalendervecka ger en transportkapacitet på ca 76 000 tkm/vecka. På ett liknande sätt beräknas prestationen för en kranbil uttryckt i vändor per år. En vända kan t.ex. vara när en lastbil kör olastad från en startpunkt till ett avlägg, lastar ett lass och transporterar in virket till en mottagningsplats. En vända inkluderar total arbetstiden i timmar för att transportera ett lass virke från skog till mottagare, dvs. tidsåtgången för olika arbetsmoment i samband med frakten samt körtiden (Gille, u.d.).

### 1.1.2 Studier inom ämnet

Francois et al.,(2017) gjorde en studie där en taktisk planeringsmodell skapades för att optimera fördelningen av virke från virkeskällor till mottagare utan att överskrida de fysiskt tillgängliga transportresurserna i olika tidsintervall. Det utfördes genom att bland annat:

- minimera transportvolymen
- förutsäga överkapacitet
- använda aggregerade transportkapacitetsbegränsningar per åkeri i tkm för den specifika optimeringsperioden.

I studien användes två åkerier med två respektive tre bilar, för vilka historiskt transportdata analyserades och gav en uppskattad transportkapacitet per dag på 18500 respektive 27750 tkm. Detta innebär att transportkapaciteten per lastbil och arbetsdag var  $(18500+27750)/5=9250$  tkm.

En detaljerad tidsstudie som undersökt produktivitet för rundvirkestransporter i Österrike är gjord av Holzleitner et al. (2011). Författarna har undersökt tidsåtgången för varje arbetsmoment vid transport av virke. Undersökningen har bland annat tagit hänsyn till vägklass och medeltransportavstånd. Resultatet visade att en lastbil med

trailer och ett medellastutrymme på 25 m<sup>3</sup> har en produktivitet på ca 6,5 m<sup>3</sup>fub/h vid ett medeltransportavstånd på 50 km. Studien visar att med ökande medeltransportavstånd minskar produktiviteten i m<sup>3</sup>fub/h. Minskningen i produktivitet var en exponentiellt fallande kurva och vid en visuell uppskattning visar det att, vid ökande transportavstånd, minskar produktiviteten med ungefär 0,03 m<sup>3</sup>fub/h per kilometer.

Att undersöka rundvirkesbilars prestation är något som Engdahl (2008) studerat. Två olika trailerkoncept och deras prestationer vid transport av rundvirke till terminal och industri jämfördes. Studien visar att längre medeltransportavstånd minskar prestationen i form av antal lass/h.

En studie utförd i Michigan har studerat hur stor miljöpåverkan är för olika försörjningskedjor för rundvirke. I studien använde sig författarna av insamlat transportdata från 2009/2010 och beräknade att en lastbil kör 88 500 km/år i medeltal med en medellastvikt om 36,3 ton (Handler et al., 2014). Vid beräkningar ger det ett utfört transportarbete i medel på  $(88500 \cdot 36,3/52) = 61\,800$  tkm per vecka och lastbil.

FlowOpt är ett beslutsstöd som används för både strategiska och taktiska flödesplanering i svenskt skogsbruk. FlowOpt kan användas för att optimera virkesflöden med hjälp av linjärprogrammering för att minimera den totala transportkostnaden (Forsberg, et al., 2005).

Bergdahl (2002) tog fram ett liknande beslutsstöd för flödesoptimering av timmertransporter utan att ta hänsyn till returtransporter och med målfunktion att minimera transportkostnaden. Ett annat exempel på beslutsstöd för flödesplanering och ruttplanering är EPO i Finland (Linnainmaa et al., 1992).

### 1.1.3 NETRA

NETRA (NEgotiation and TRAnsport planning modell) är ett beslutsstöd utvecklat för optimering av virkesflöden på Norra Skogsägarnas verksamhetsområde. Optimeringarna görs utifrån transportavtal, medeltransportavstånd från skattade medelkoordinater inom respektive skogsbruksområde till mottagande industrier, pris till skogsägare, pris till industri samt tillgång och efterfrågan. Optimeringarna utförs som ett linjärt problem för att maximera det ekonomiska nettot (Edlund, 2014). NETRA används i praktiken vid virkesaffärer för att kunna ge användaren förslag på destinering av virke för att maximera ekonomiskt netto. Med destinering avses här till vilken mottagare virke från olika virkeskällor ska fraktas.

NETRA utvecklades ursprungligen genom ett examensarbete av Örtendahl (2001) där en modell utvecklad i Microsoft Excel användes för att destinera massaved uppdelat på löv, barr och frisk färsk gran (FFG) med lastbil. Genom optimeringar för olika scenarios i Örtendahls examensarbete fann han ett teoretisk optimalt virkesflöde för en planeringshorisont på två veckor vilket ökade vinsten i medeltal med 2,2% för totala massavedsflödet jämfört med verkligt utfall. Analysen utfördes i tre scenarios:

- Fast volym. Samma volym som levererades i verkligheten tvingades in till respektive industri. Modellen tilläts då endast att variera varifrån virket skulle skickas.
- Leveransplan. Varje mottagare tilldelades ett intervall för inlevererad volym. Intervallerna avsåg maximal och minimal leverans utifrån målvolymen. Intervallen utgick från målvolymen ifrån leveransavtal som gällde under perioden för analyserna.
- Fritt industri. Förenklat innebar detta scenario att alla köpande industrier hade lika pris fritt industri, d.v.s. att Norra Skogsägarna betalade för transporten.

Resultaten som Örtendahl (2001) redovisar i studien, visade att transportarbetet ökade för scenario "fast volym" och "leveransplan", men sjönk för scenario "fritt industri". Medeltransportavståndet utifrån optimeringsförslagen sjönk för scenarierna "fast volym" och "fritt industri" men ökade för scenario "leveransplan".

År 2003–2004 vidareutvecklades NETRA för att kunna hantera både massaved och sågtimmer. Det gjordes genom ytterligare ett examensarbete utfört av Mellqvist (2004). Detta arbete innefattade även en utvidgning av det geografiska området då ytterligare källor och mottagare lades till. Mellqvist utvecklade också en metod för att optimera virkesflödet med möjlighet att ta hänsyn till returtransport av virke. Den totala teoretiska förbättringspotentialen för det ekonomiska nettot var jämfört med verkligt utfall i genomsnitt 1,5% för alla sortiment exklusive returtransporter. När returtransporter inkluderades i analyserna var förbättringspotentialen i stället 4,5%. För en planeringshorisont på två veckor fanns en teoretisk förbättringspotential av massaved totalt på 1,5%.

En ytterligare vidareutveckling av NETRA gjordes av Edlund (2014) för att förenkla användarvänligheten och kunna hantera järnvägstransporter i optimeringarna av virkesflöden. Edlund kvantifierade förbättringspotentialen av det ekonomiska nettot och fann en teoretisk förbättringspotential totalt av timmer och massaved exklusive FFG på 1,3% och en förbättringspotential på 1,7% totalt för massaved exklusive FFG för en optimeringsperiod på två veckor.

Under 2018 uppdaterades NETRA av företaget Fridata genom att göra det enklare att lägga till mottagare och virkeskällor. Även avstånd mellan virkeskällor och mottagare samt utökning av det geografiska användningsområdet uppdaterades.

I grundutförandet av NETRA har det saknats en funktion för beräkning av transportarbete och transportkapacitet. Transportarbete i m<sup>3</sup>fubkm kan enkelt beräknas genom att använda medeltransportavståndet multiplicerat med summan av volymen i m<sup>3</sup>fub inom respektive geografiskt område.

#### 1.1.4 Norra Skogsägarna

Norra Skogsägarna är en medlemsägd skogsägarförening där medlemmarna genom förtroendevalda bestämmer föreningens inriktning. Norra Skogsägarna är geografiskt uppdelat i nio virkesområden med 49 skogsbruksområden (SBO) (Norra Skogsägarna, 2018).

Norra Skogsägarna är en växande skogsägarförening både till medlemsantal och levererad nettovolym. Vid årsslutet 2017 var medlemsantalet 17 323 och ett volymsrekord gjordes under året med inmätt volym på 2 076 000 kubikmeter fast mått under bark (m<sup>3</sup>fub) vilket var cirka 2% mer än 2016. Den största delen av ökningen kommer från en ökad mängd massaved (Norra Skogsägarna, 2018).

## 1.2 Problemformulering

Olika typer av virkesaffärer kan ha en stor påverkan på det lokala resursbehovet av transporter även om transportbehovet regionalt är ungefär detsamma. Transporteras virke t.ex. från Umeå-området till Smurfit Kappa i Piteå (ca 200 km) i stället för massaindustrin i Obbola (ca 20 km) kan det ändå ge en ekonomisk vinst att transportera virket till industrin i Piteå om Smurfit Kappa betalar mer för virke relativt Obbola. Det kommer däremot innebära att behovet av transportresurser lokalt kommer att öka jämfört med att transportera virket till Obbola.

Problemet med NETRA i dagsläget är att användaren av beslutsstödet själv får bedöma om affären är praktiskt genomförbar i det operativa arbetet med hänsyn till befintliga transportresurser. Vid affärer som innebär långa transportavstånd krävs



det ett högre transportarbete som i förlängningen förbrukar större andel av de tillgängliga transportresurserna. Därför finns ett behov av ett vidareutvecklat beslutsstöd som kan ge användaren en snabb och enkel överblick av tillgängliga och nödvändiga transportresurser och hur dessa påverkas av affärer i olika geografier.

### 1.3 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete var tvådelat:

- 1) Att vidareutveckla beslutsstödet NETRA med en funktion för att jämföra tillgänglig transportkapacitet mot det beräknade kapacitetsbehovet utifrån optimalt virkesflöde.
- 2) Att validera den utvecklade funktionens noggrannhet genom ett test där beräknat behov av transportkapacitet jämförs mot faktiskt utförda transporter.

Målet var att funktionen direkt skall kunna implementeras i operativt arbete.

### 1.4 Avgränsningar

I denna studie är den geografiska avgränsningen Norra Skogsägarnas skogliga organisation som sträcker sig från Ångermanland i söder till Tornedalen i norr. Studien är begränsad till transportinformation från Norra Skogsägarnas rundvirkestransporter med lastbil under åren 2017 och 2018. De sortiment studien är genomförd på är de befintliga rundvirkessortiment som NETRA idag hanterar: barr- och lövmassaved, samt tall- och grantimmer. Studien är baserad på data från faktiskt utförda transporter och är inte kopplade till det verkliga behovet i form av leveransplaner. I analyserna antas det att utförda transporter har uppfyllt befintliga leveransplaner under studieperioden, dvs. att 100% av leveransplanen blivit intransporterad.

## 2 Material och metoder

### 2.1 Arbetets huvudsteg

Studien utfördes i följande delsteg:

- Definiera problem och bestämma arbetssätt
- Urval av lastbilar och insamling av transportdata för modellering och validering
- Skapa en matematisk modell för att beräkna tillgänglig transportkapacitet av lastbilstransporter av rundvirke under en viss tidsintervall och geografi
- Validering av modellen (även kallad transportkapacitetsmodellen)
- Implementering av modellen i beslutsstödet NETRA, detta genom en utökning av beslutsstödet med en transportkapacitetsdel.

### 2.2 Fallstudie

Den avgränsning som gjorts av denna studie innebär att den sker som en fallstudie. Fallstudier är ofta användbara i de flesta typer av vetenskapliga undersökningar. Ett av syftena med en fallstudie är att använda sig av en liten del av ett större förlopp och med hjälp av fallet återspegla och beskriva verkligheten. Fördelen med en fallstudie är att författaren inte behöver ge sig in på en större beskrivning av ett område utan på ett begränsat sätt kunna ge en representativ bild av det inom området som är aktuellt för syftet. Vid användandet av fallstudie bör aktsamhet begagnas eftersom ett enskilt verk aldrig kan beskriva verkligheten fullständigt, och därför bör slutsatserna tolkas med viss tillförsiktighet (Ejvegård, 2009). För denna studie används en liten del av ett större förlopp för att försöka beskriva verkligheten med hjälp av en matematisk modell.

## 2.3 Insamling av datamaterial

Insamling av data har gjorts med hjälp av tilläggstjänsten Virkesredovisning Online (VIOL) från Skogsbrukets Datacentral (SDC), som fr.om. 1/1–2019 bytt namn till Biometria. Insamlat data var i form av transportdata från leveranser av virke under åren 2017 och 2018 där högsta tidsupplösningen är per vecka. Tillgång till information från SDC har tillhandahållits av Norra Skogsägarna genom webbinloggningen violWEB.se. Modellen konstruerades på data från 2017 och validerades på data från 2018.

Urval av lastbilar som datainsamlingen skulle genomföras på gjordes tillsammans med logistikchef Jörgen Bergh på Norra Skogsägarna. Urvalskriterierna var att: 1) lastbilarna skulle vara stabila i sin skiftform, 2) lastbilarna skulle ha utfört transporter under både 2017 och 2018, samt 3) att utvalda lastbilar skulle vara stationerade i olika geografiska områden inom Norra Skogsägarnas verksamhetsområde. Stabil skiftform innebär att lastbilarna normalt körs kontinuerligt med antingen tvåskift eller enkelskift och inte med olika skiftform över åren. När urvalet av bilar var klar gjordes insamlingen av transportdata genom att söka på de utvalda lastbilarnas transportörsnummer i Transportinformationssystemet (TIS). TIS är en del av VIOL där redovisning av transportprisräknat virke görs.

### 2.3.1 Indata till modell

Transportkapacitetsmodellen baseras på data från 24 lastbilar under vecka 1-52 år 2017 fördelat veckovis. I TIS finns bland annat valmöjligheten att söka efter avlämnad volym och inmätt volym. Datat som använts för denna studie bestod av summan av avlämnad volym hos mottagare per vecka och lastbil. Avlämnad volym användes för att den intransporterade volymen skulle redovisas på den veckan när transporten utfördes och inte när virket mätts in, då det kan vara olika tidpunkter. I det redovisade datamaterialet från VIOL var volymen omräknad till  $\text{m}^3\text{fub}$  och för samtliga veckor redovisades även medeltransportavstånd för varje lastbil under insamlingsperioden. Medeltransportavståndet var omräknat i TIS utifrån det angivna avståndet mellan avläggsplats och industri. Avståndet hämtas automatiskt i TIS från virkesordrar från Norra Skogsägarnas affärer. Eftersom materialet var omräknat till  $\text{m}^3\text{fub}$  är transportarbetet angivet i  $\text{m}^3\text{fubkm}$  i denna studie. På ett enskilt lass är avståndet mellan avlägg och mottagningsplats (enkel väg) det angivna medeltransportavståndet. När flera lass summeras i TIS beräknas medeltransportavståndet med följande ekvation:

$$\text{Medeltransportavstånd (km)} = \frac{\sum \text{Transportarbetet (m}^3\text{fubkm)}}{\sum \text{Bruttovolymen (m}^3\text{fub)}} \quad (1)$$

Kategorisering av lastbilarna utfördes utifrån vilken geografi de normalt är verksamma i samt utifrån vilket skift de normalt körs med (Tabell 1 och Tabell 2). Det resulterade i tre olika kategorier som vardera utgjordes av åtta lastbilar: tvåskift i region 1, enkelskift i region 1 och enkelskift i region 2. Att resultatet av kategoriseringen inte var fyra kategorier berodde på att det inte fanns tillräckligt med tvåskiftsbilar i region 2 att undersöka. Lastbilarna i region 1 var stationerade i Västernorrlands samt Västerbottens län och i region 2 var lastbilarna stationerade i Norrbottens län. Anledningen till denna uppdelning var att medeltransportavstånden mellan de olika regionerna skilde sig åt i det insamlade materialet.

**Tabell 1.** Antal observationsveckor, medelvärden, medianvärde, maximum och minimum värden för medeltransportavstånden som transportkapacitetsmodellen är byggd på. En observation avser en lastbil och en vecka där volym är transporterad. N=antal observationer

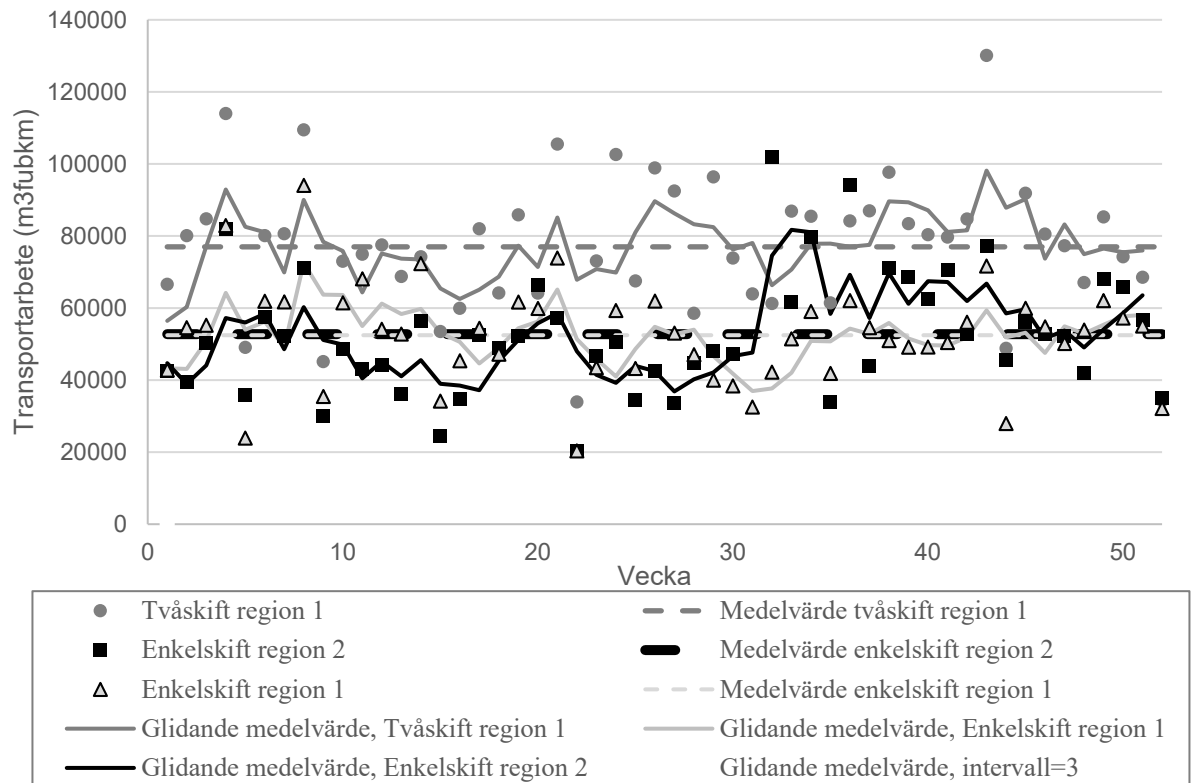
| Region | Skift      | N   | Medelvärde (km) | Minimum (km) | Median (km) | Maximum (km) |
|--------|------------|-----|-----------------|--------------|-------------|--------------|
| 1      | Enkelskift | 367 | 81,8            | 35,2         | 79,6        | 169,9        |
| 1      | Tvåskift   | 404 | 83,5            | 37,2         | 78,9        | 176,1        |
| 2      | Enkelskift | 372 | 136,0           | 34,4         | 129,0       | 262,3        |

**Tabell 2.** Summan av bruttovolymen, transportarbetet samt medeltransportavståndet beräknat genom att summan av transportarbetet dividerats med bruttovolymen för 2017, för samtliga 24 lastbilar i data för uppbyggnaden av modellen. Materialet utgjorde indata för uppbyggnaden av transportkapacitetsmodellen

| Region | Skiftform  | Brutto<br>(m <sup>3</sup> fub) | Transportarbete<br>(m <sup>3</sup> fubkm) | Medeltransportavstånd<br>(km) |
|--------|------------|--------------------------------|---|-------------------------------|
| 1      | Enkelskift | 24 202 6                       | 19 193 766                                | 79,3                          |
| 1      | Tvåskift   | 39 451 4                       | 31 028 184                                | 78,6                          |
| 2      | Enkelskift | 15 329 2                       | 19 442 481                                | 126,8                         |

För att studera det insamlade materialet och eventuella avvikande perioder över året plottades transportarbetet för respektive vecka upp (Figur 1). Glidande medelvärden visar inga tydliga variationer för de tre kategorierna över insamlingsperioden (Figur 1), därför beslutades det om att göra en generell modell för hela året. Medelvärdet av det utförda transportarbetet för de 16 enkelskiftsbilarna som ingick i materialet

var 0,4% högre i region 2 än i region 1 (Figur 1), däremot var medeltransportavståndet för enkelskiftsbilar i region två 60% längre jämfört med enkelskiftsbilar i region 1 (Tabell 2).



**Figur 1.** Individuella punkter visar transportarbetet i medeltal per vecka och kategori. Data baseras på 24 lastbilar som utgjorde materialet till uppbyggnaden av transportkapacitetsmodellen. Streckade linjer visar medelvärdena av transportarbete per vecka för respektive kategori över året 2017. Medelvärdet är beräknat som summan av transportarbetet dividerat med antalet lastbilar som utfört transporter under gällande vecka inom respektive kategori för respektive vecka. Heldragna linjer visar det glidande medelvärdet, som innebär ett genomsnittligt transportarbete per kategori över den senaste tidsperioden. Intervall=3 innebär att det tre senaste veckorna är använda i genomsnittsberäkningen för respektive vecka.

### 2.3.2 Modellering

För att skapa den matematiska modellen användes kovariansanalys, även kallad Ancova. Beräkningar genomfördes i Minitab 18.1 med en generell linjär modell. Ancova valdes eftersom datamaterialet bestod av både en kontinuerlig oberoende variabel (medeltransportavstånd, km) och kategoriska oberoende variabler (regioner och skiftform). Responsvariabel (beroende variabel) var transportkapacitet

(m<sup>3</sup>fubkm). Analysen gav fyra separata funktioner som sedan användes för att skapa en sammanfogad funktion för beräkning av transportkapacitet per vecka och lastbil för samtliga fyra kategorier (ekvation 2). I analysen inkluderades även en funktion för kategorin tvåskift region 2, fast den kategorin saknade indata. Den funktionen baserades istället på förhållandet mellan de tre övriga kategorierna. Kovariansanalysen ger förklaringsgrad för den sammanfogade funktionen samt p-värden för de ingående konstanterna och de kategoriska variablerna.

$$\begin{aligned} \text{Transportkapacitet}_{ij} = \\ A + B * \text{Medeltransportavstånd} + C * \\ \text{Region}_i + D * \text{Skiftform}_j + \varepsilon \end{aligned} \quad (2)$$

Transportkapacitet<sub>ij</sub>= per vecka och timmerbil uttryckt i m<sup>3</sup>fubkm

Medeltransportavstånd (km)

*i*=region (1=region 2, 0=region 1)

*j*=skift (1=tvåskift, 0=enkelskift)

ε= slumpvariabel som har till syfte att beskriva avvikelser mellan de beroende och oberoende variablerna

## 2.4 Validering

### 2.4.1 Indata validering

Det material som användes för valideringen var transportdata från samma lastbilar som i modelluppbyggnaden men genererat under vecka 1–44, 2018. Anledningen till att materialet inte täckte ett helt år var för att tidpunkten för utförandet av valideringen var i november 2018. Datamaterialet för valideringen var av samma typ och bestod av likvärdig information som för datamaterialet för uppbyggnaden av transportkapacitetsmodellen.

### 2.4.2 Valideringens utförande

Transportkapaciteten beräknades för följande tidsintervaller: per vecka, per fyra veckor samt per kvartal. Beräkningarna baserades på transportkapaciteten per vecka och lastbil (se ekvation 2) och konstanterna i Tabell 4). För beräkning av de längre tidsintervallerna summerades resultatet för de veckor som representerade intervallet. Differensen mellan faktiskt arbete och beräknat arbete beräknades som:

$$\text{Differens (m}^3\text{fubkm)} = \text{beräknad transportkapacitet (m}^3\text{fubkm)} - \text{faktiskt transportarbete (m}^3\text{fubkm)}$$

Jämförs modellens indata mot det indata valideringen är gjord på går det utläsa att medeltransportavståndet är kortare i region 1 oavsett skiftform, medan medeltransportavståndet är längre för region 2 (Tabell 2 och Tabell 4). Studeras max- och min-värden så är den största avvikelsen i km för max-värdet för enkelskift i region 2 (Tabell 2 och Tabell 3). Modellens indata begränsas av maximala och minimala medeltransportavstånd som transporter är utförda med, avståndet mellan de maximala och minimala medeltransportavstånden benämns nedan som ett intervall. När beräkningar görs för att prediktera värden utanför intervallet som modellen är byggd på innebär det att osäkerheten ökar med ökat avstånd från modellens intervall. För att undersöka hur datamaterialets storlek påverkar resultatet sorterades värden utanför modellintervallet bort och jämfördes mot det datamaterial som inte var sorterat.

**Tabell 3.** Antal observationer, medelvärden, medianvärde, max- och min-värden för medeltransportavstånden som modellen valideras mot. En observation avser en lastbil och en vecka där volym är transporterad

| Region | Skift      | N   | Medelvärde (km) | Minimum (km) | Median (km) | Maximum (km) |
|--------|------------|-----|-----------------|--------------|-------------|--------------|
| Ett    | Enkelskift | 334 | 80,3            | 26,2         | 78,4        | 150,0        |
| Ett    | Tvåskift   | 342 | 78,0            | 31,5         | 76,6        | 151,0        |
| Två    | Enkelskift | 306 | 155,0           | 40,0         | 151,2       | 362,0        |

**Tabell 4.** Delar av materialet som modellen är validerad mot; summan av bruttovolymen, transportarbetet samt medeltransportavstånd uträknat med ekvation 1 under vecka 1–44 2018, för 24 lastbilar.

| Region | Skiftform  | Brutto (m <sup>3</sup> fub) | Transportarbete (m <sup>3</sup> fubkm) | Medeltransportavstånd (km) |
|--------|------------|-----------------------------|--|----------------------------|
| 1      | Enkelskift | 22 608 6                    | 17 105 919                             | 75,7                       |
| 1      | Tvåskift   | 343 189                     | 25 604 745                             | 74,6                       |
| 2      | Enkelskift | 110 962                     | 16 357 010                             | 147,4                      |

För att undersöka hur modellen över- eller underskattade transportkapaciteten jämfört med faktiskt transportarbete beräknades variationskoefficienter (CV) för överskattade respektive underskattade värden. Variationskoefficient är lämplig att använda för att jämföra mätnoggrannheten för olika stora skalor (Samuels et al., 2003). För att bestämma variationskoefficienten beräknades standardavvikelsen och absoluta medelvärden för överskattade respektive underskattade värden. Variationskoefficienten är enhetslös och beräknas genom:

$$CV = \text{standardavvikelse} / \text{medelvärde}$$

Pearsons korrelationstest utfördes mellan det faktiska transportarbetet och det predikterade transportkapaciteten för att undersöka den linjära korrelationen (Egghe & Leydesdorff, 2009). Detta gjordes för de tre olika tidsintervall vecka, fyra veckor och kvartal för respektive kategori.

## 2.5 Implementering av modellen i NETRA

NETRA är i tidigare versioner utvecklad med Microsoft Excel och med programmering i Visual Basic och därför är även denna vidareutveckling utförd med samma verktyg. Visual Basic är ett programmeringsspråk som gör att det går att utveckla funktioner i Microsoft Excel för att öka funktionalitet och för att utföra beräkningar enklare genom automatisering. Implementeringen har gjorts genom att skapa nya flikar i det befintliga Exceldokumentet av NETRA. Den nya transportkapacitetsdelen hämtar data från resultatet av optimeringarna från den ursprungliga delen. Den stora skillnaden i utförandet mot tidigare versioner av NETRA är att den nya transportkapacitetsdelen inte använder sig av optimeringar och berörs därför inte direkt av optimeringslösaren Open Solver.

### 2.5.1 Indata till NETRA

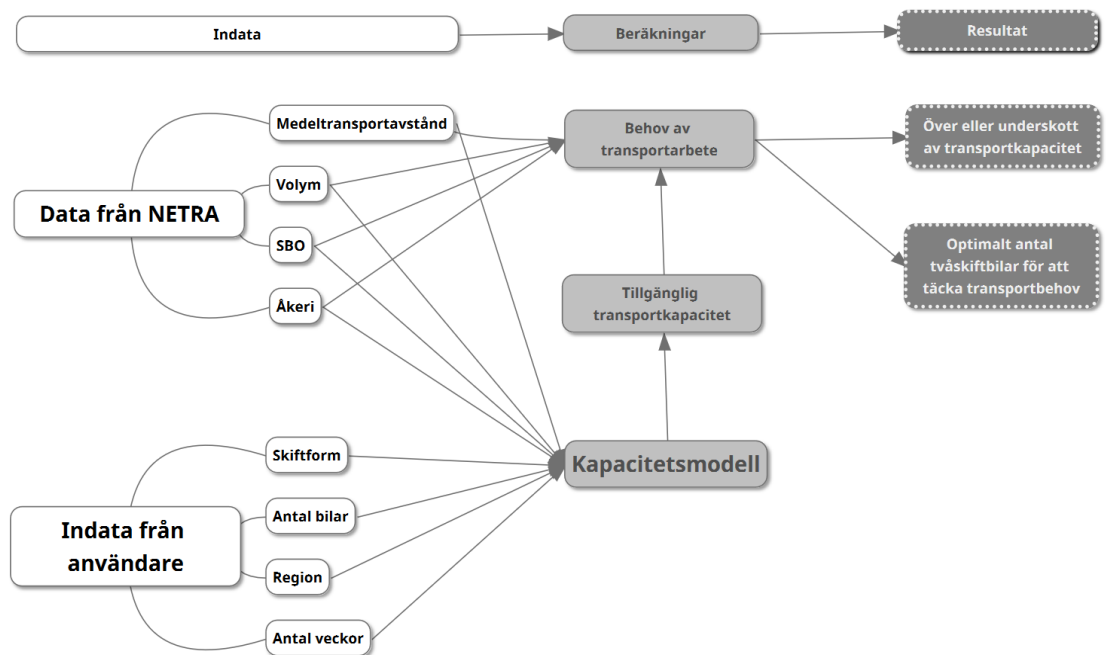
Det indata som transportkapacitetsdelen använder sig av från optimeringarna i NETRA är medeltransportavstånd, volym ( $\text{m}^3\text{fub}$ ), åkerier samt deras placering i



geografen. Den information användare av NETRA bör tillföra för att beräkna tillgänglig transportkapacitet är antalet lastbilar inom varje SBO, vilken skiftform de körs med, vilken region som lastbilarna normalt körs i samt antalet veckor som beräkningarna skall utföras med.

Resultatet som ges av beräkningarna i transportkapacitetsdelen är vilken transportkapacitet i form av m<sup>3</sup>fubkm per vecka som finns tillgänglig inom varje SBO utifrån indatamaterialet. Den informationen jämförs sedan med behovet av transportarbete som resultat från det flödesoptimeringsförslag den ursprungliga delen av NETRA beräknar.

Transportkapacitetsmodellen beräknar den tillgängliga transportkapaciteten utifrån användarens inmatningar. Differensen mellan tillgänglig kapacitet och behovet av transportarbete visas för användaren i tabell och diagramform fördelat per åkeri och SBO. Överskott och underskott av transportkapacitet på SBO-nivå visualiseras i en karta. Ytterligare beräknas och visualiseras optimalt antal tvåskiftsbilar per SBO i en kolumn (Figur 2).



**Figur 2.** Schematisk bild över uppbyggnaden av transportkapacitetsdelen i NETRA. Behovet av transportarbete är beräknat och summerat för alla sortiment i NETRA utifrån optimeringsresultat. Den ursprungliga delen av NETRA beskrivs ej i figuren. Det enda som i denna figur är från den ursprungliga delen är de fyra variablerna som visas efter "Data från NETRA".

## 3 Resultat

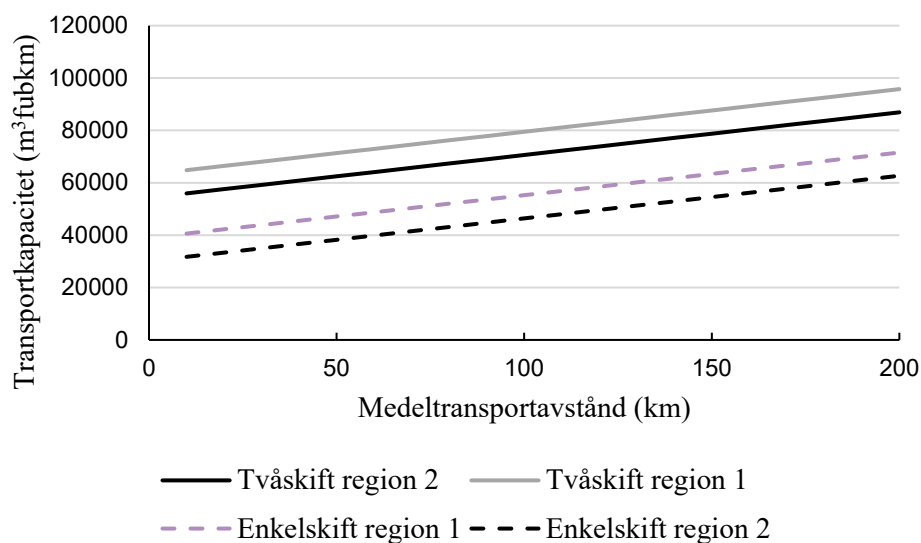
### 3.1 Matematisk modell

Ancovan visar att modellens konstanter och de kategoriska variablerna är signifikanta (Tabell 5). Modellens förklaringsgrad är 21,64% och den justerade förklaringsgraden är 21,43%.

**Tabell 5.** Resultattabell för koefficienterna från ancova-analysen. Koefficienterna A och B inkluderas i samtliga beräkningar. Koefficient C inkluderas enbart i beräkningar för region 2 och koefficient D enbart för tvåskift.

| Konstant | Term                  | Koefficient | P-Värde |
|----------|-----------------------|-------------|---------|
| A        | Konstant              | 38 977      | <0,001  |
| B        | Medeltransportavstånd | 162,9       | <0,001  |
| C        | Region: Två           | -8869       | <0,001  |
| D        | Skift: Tvåskift       | 24218       | <0,001  |

Modellen gav vid beräkningar vid ett medeltransportavstånd på 40 km för en tvåskiftsbil i region 1 en transportkapacitet på 69 711 m<sup>3</sup>fubkm per vecka, medan för en enkelskiftsbil i samma region gav den en kapacitet på 45 493 m<sup>3</sup>fubkm i den aktuella fallstudien. Vid 160 km gav beräkningarna för en tvåskiftsbil i region 1 kapacitet på 89 259 m<sup>3</sup>fubkm och en enkelskiftsbil i samma region 65 041 m<sup>3</sup>fubkm. En tvåskiftsbil hade 53% högre kapacitet än en enkelskiftsbil vid 40 km medeltransportavstånd och 37% högre kapacitet vid 160 km. Jämförs enkelskiftsbilar mellan regionerna så hade en enkelskiftsbil i region 1 24% mer transportkapacitet än i region 2 vid medeltransportavstånd 40 km och med medeltransportavstånd på 160 km var kapaciteten 15,8% högre i region 1 (Figur 3).



Figur 3. Transportarbetet per vecka per lastbil vid olika medeltransportavstånd för de fyra funktionerna modellen hanterar.

### 3.2 Validering

Modellen predikterade transportkapaciteten med minst avvikelse i kategorin enkelskift region 1 medan den största överskattningen var för enkelskiftsbilar i region 2 (Tabell 6).

Hela modellens predikterade värden hamnade i 91,8% av fallen inom prediktionsintervallet och 9,7% av fallen inom konfidensintervallet för de faktiskt utförda transporterna.

I medeltal per vecka utförde de åtta enkelskiftbilarna i region 1 6,4% mer transportarbete än de åtta enkelskiftbilarna i region 2. Tvåskiftsbilarna i region 1 utförde 46,5% mer transportarbete än enkelskiftbilarna i samma region (Tabell 6).

Jämförelser mellan modellens beräknade transportkapacitet och det faktiskt utförda transportarbetet visar att korrelationen ökar med ökande tidsintervall för de tre olika kategorierna. Den största ökningen av korrelationen i procent är mellan veckonivå och kvartalsnivå för tvåskiftsbilar i region 1, som ökar från 51,4% till 98,7%, och den minsta korrelationsökningen är mellan fyra veckor och kvartal för enkelskiftsbilar i region 1, som ökar från 84,8% till 94,1% (Tabell 6).

Tabell 6. Sammanställning av resultatet från transportkapacitetsmodellen som jämförs mot faktiska transportdata från perioden v.1–46 år 2018

| Period             |                          | Tvåskift region 1 |            | Enkelskift region 1 |            | Enkelskift region 2 |            |
|--------------------|--------------------------|-------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
|                    |                          | Faktiskt          | Beräknat   | Faktiskt            | Beräknat   | Faktiskt            | Beräknat   |
| Vecka              | Medel*                   |                   |            |                     |            |                     |            |
|                    | (m <sup>3</sup> fubkm)   | 552 919           | 590 024    | 377 418             | 395 163    | 354 777             | 384 928    |
|                    | SD                       |                   |            |                     |            |                     |            |
|                    | (m <sup>3</sup> fubkm)   | 213 060           | 57 296     | 144 599             | 39 188     | 132 255             | 77 381     |
|                    | Korrelations-koefficient |                   | 0,514      |                     | 0,473      |                     | 0,542      |
| Fyra veckor        | p-värde                  |                   | <0,001     |                     | 0,001      |                     | <0,001     |
|                    | Medel*                   |                   |            |                     |            |                     |            |
|                    | (m <sup>3</sup> fubkm)   | 2 211 676         | 2 360 095  | 1 509 670           | 1 580 650  | 141 906             | 1 539 712  |
|                    | SD                       |                   |            |                     |            |                     |            |
|                    | (m <sup>3</sup> fubkm)   | 536 813           | 161 886    | 322 710             | 106 516    | 344 055             | 254 552    |
| Kvartal            | Korrelations-koefficient |                   | 0,861      |                     | 0,848      |                     | 0,826      |
|                    | p-värde                  |                   | 0,001      |                     | 0,001      |                     | 0,002      |
|                    | Medel*                   |                   |            |                     |            |                     |            |
|                    | (m <sup>3</sup> fubkm)   | 6 082 108         | 6 490 261  | 4 151 593           | 4 346 788  | 3 902 542           | 4 234 207  |
|                    | SD                       |                   |            |                     |            |                     |            |
| Hela tidsintervall | (m <sup>3</sup> fubkm)   | 1 945 661         | 2 341 814  | 1 896 151           | 1 718 556  | 1 514 912           | 1 638 158  |
|                    | Korrelations-koefficient |                   | 0,987      |                     | 0,941      |                     | 0,992      |
|                    | p-värde                  |                   | 0,013      |                     | 0,059      |                     | 0,008      |
|                    | Summa                    | 24 328 432        | 25 961 044 | 16 606 370          | 17 387 151 | 15 610 169          | 16 936 830 |
|                    | Differens**              |                   | 6,7%       |                     | 4,7%       |                     | 8,5%       |

\*Medel= medelvärde för respektive tidsintervall för varje kategori som inkluderade åtta bilar i vardera.

\*\*Differens är beräknad med summan som ((beräknad transportkapacitet/faktisk transportarbete) -1)x100 (%)

I medeltal per vecka utförde en tvåskiftsbil i region 1 43,0% mer transportarbete än en enkelskiftsbil i samma region och en enkelskiftsbil i region 2 utförde 2,6% mer transportarbete än en enkelskiftsbil i region 1. Medelvärdet för differensen mellan faktiskt transportarbete och beräknad transportkapacitet på veckonivå var positiv för alla tre kategorier vilket visar att modellen överskattade transportkapaciteten i medeltal med 3800 m<sup>3</sup>fubkm (6,7%) under hela studieperioden (Tabell 7).

**Tabell 7.** Medelvärden ( $\bar{x}$ ), standardavvikelser (SD) och antal observationer (N) för faktiskt och beräknat transportarbete och för differensen mellan faktiskt och beräknat transportarbete per vecka och lastbil för hela studieperioden v.1–44, 2018. Beräknat medeltransportavstånd (km) är beräknat genom att summan av faktiskt transportarbetet divideras med summan av faktisk bruttovolym för perioden.  $\bar{x}$  faktiskt medeltransportavstånd (km) är medelvärdet av faktiska medeltransportavstånd per vecka

| Kategori  | Tvåskift Region 1 |          |           | Enkelskift Region 1 |          |           | Enkelskift Region 2 |          |           |
|---|-------------------|----------|-----------|---------------------|----------|-----------|---------------------|----------|-----------|
|   | Faktiskt          | Beräknat | Differens | Faktiskt            | Beräknat | Differens | Faktiskt            | Beräknat | Differens |
| $\bar{x}$<br>(m <sup>3</sup> fubkm)                           | 71 136            | 75 912   | 4 776     | 49 720              | 52 060   | 2 340     | 51 014              | 55 354   | 4 340     |
| SD<br>(m <sup>3</sup> fubkm)                                  | 30 883            | 3 105    | 30 887    | 25 959              | 3582     | 25 827    | 23 773              | 9470     | 22 611    |
| Median  | 70 396            | 75 673   | 5 898     | 48 255              | 51 750   | 4 541     | 49 436              | 89 089   | 4 714     |
| Max   | 176 031           | 87 791   | 73 450    | 170 748             | 63 417   | 55 632    | 109 626             | 36 625   | 60 385    |
| Min   | 4859              | 68 324   | -102 965  | 1 660               | 43 238   | -120 822  | 1 580               |          | -59 474   |
| N   | 342               | 342      | 342       | 334                 | 334      | 334       | 306                 | 306      | 306       |
| Beräknat<br>medeltrans-<br>portavstånd<br>(km)                | 74,4              |          |           | 75,8                |          |           | 145,8               |          |           |
| $\bar{x}$<br>faktiskt me-<br>deltrans-<br>portavstånd<br>(km) | 78,1              |          |           | 80,3                |          |           | 155,0               |          |           |

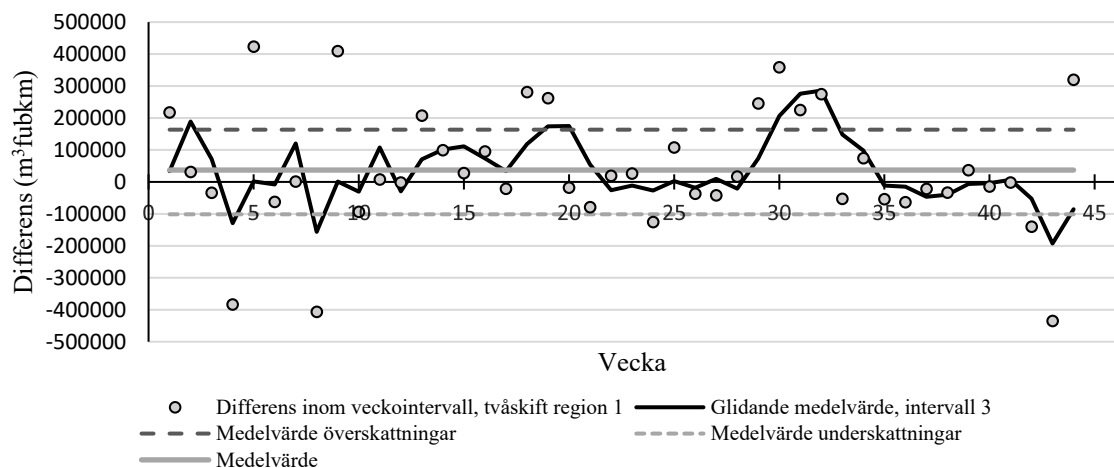
**Tabell 8.** Medelvärden ( $\bar{x}$ ), standardavvikelser (SD) och antal observationer (N) för: faktiskt transportarbete, beräknad transportkapacitet och för differensen mellan faktiskt transportarbete och beräknad transportkapacitet per vecka och lastbil. Materialet är beräknat utifrån valideringsdata där värden med medeltransportavstånd utanför maximum och minimum-värden som modellen är byggd på är bortsorterade.  $\bar{x}$  medeltransportavstånd (km) är medelvärdet av faktiska medeltransportavstånd per vecka

| Kategori                                  | Tvåskift Region 1 |          |           | Enkelskift Region 1 |          |           | Enkelskift Region 2 |          |           |
|---|-------------------|----------|-----------|---------------------|----------|-----------|---------------------|----------|-----------|
|   | Faktiskt          | Beräknat | Differens | Faktiskt            | Beräknat | Differens | Faktiskt            | Beräknat | Differens |
| $\bar{x}$<br>(m <sup>3</sup> fubkm)       | 71 582            | 75 997   | 4416      | 50 336              | 52 204   | 1867      | 51 022              | 54 042   | 3020      |
| SD<br>(m <sup>3</sup> fubkm)              | 30 705            | 3021     | 30 806    | 25 671              | 3447     | 25 704    | 24 008              | 7904     | 22 176    |
| N   | 338               | 338      | 338       | 328                 | 328      | 328       | 289                 | 289      | 289       |
| Beräknat medeltransportavstånd            | 74,9              |          |           | 76,5                |          |           | 181,2               |          |           |
| $\bar{x}$ medeltransportavstånd (km)      | 78,57             |          |           | 81,18               |          |           | 146,89              |          |           |
| Differens*                                |                   | 6,1%     |           |                     | 3,7%     |           |                     | 5,9%     |           |
| Jämförelse mot tabell 6 (procent-enheter) |                   | -0,6     |           |                     | -1       |           |                     | -2,6     |           |

\*Differens är beräknad med summan som ((beräknad transportkapacitet/faktisk transportarbete) -1)x100 (%)

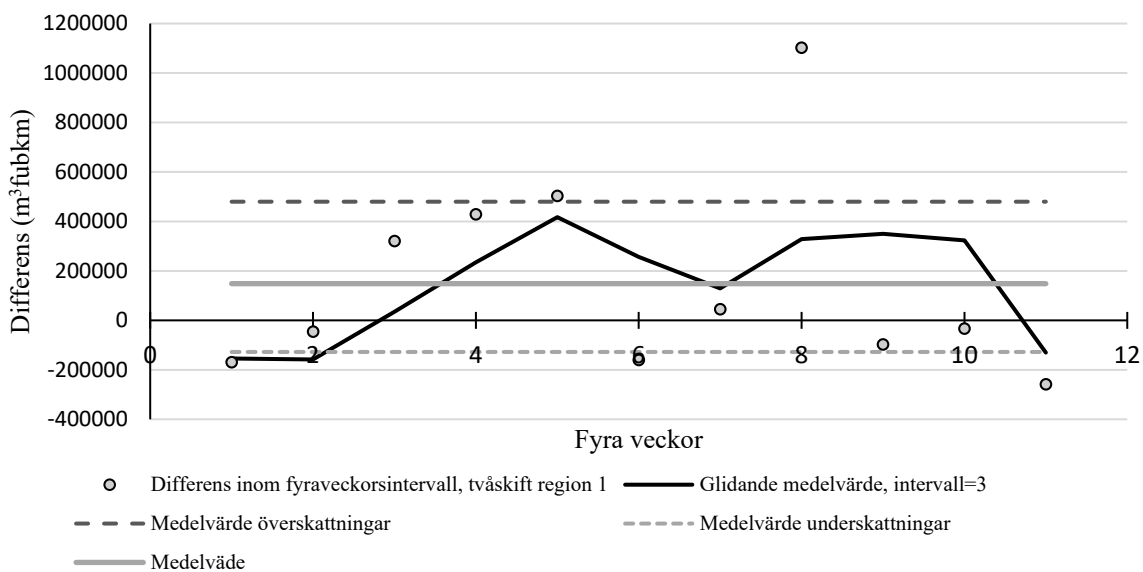
Valideringsdata analyserades när observationer utanför modellintervallet var bortsorterat. Jämförelsen visar att modellen överskattar transportkapaciteten mindre för alla kategorier när datamaterialet är sorterat och den största minskningen (- 2,6 procentenheter) var för överskattning i kategorin enkelskift region 2, (Tabell 8). Analysen visar att modellen i medeltal överskattade transportarbetet per vecka och bil med 3100 m<sup>3</sup>fubkm (5,2%) (Tabell 8).

Modellen hade en spridd prediktion över studieperioden på veckonivå, standardavvikelsen för överskattade värden hade en variationskoefficient på 83% och för underskattade värden var variationskoefficienten 132% (Figur 4). Det glidande medelvärdet påvisar ett liknande säsongsmönster för alla tre kategorierna på veckonivå (Figur 4, Figur 7, Figur 10). På kvartalsnivå är variationskoefficienten 51% för överskattade värden och någon variationskoefficient går ej att beräkna för underskattade värden p.g.a. endast en observationspunkt (ingen standardavvikelse). Modellen överskattade transportkapaciteten i de tre första kvartalen (Figur 6).

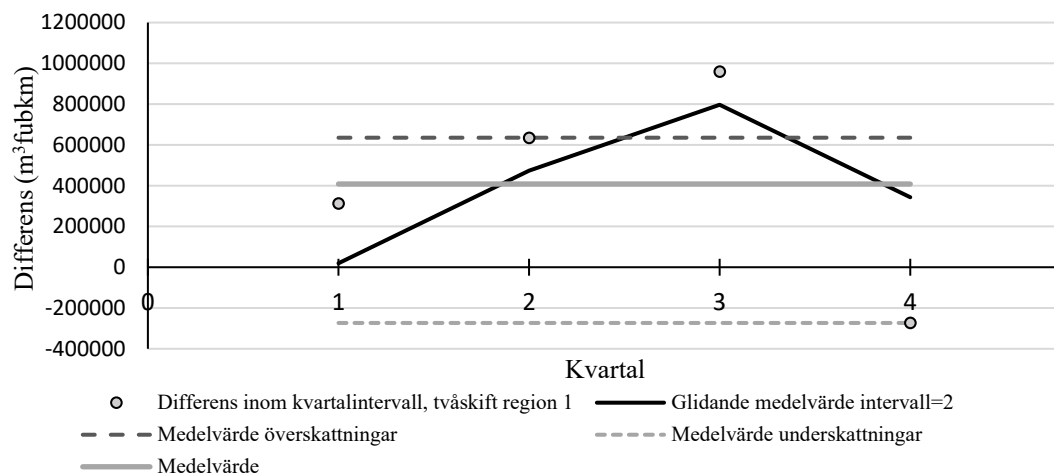


Figur 4. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44, för samtliga 8 lastbilar i kategorin tvåskift region 1. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de tre föregående veckorna.

Variationskoefficienten var 81% för överskattade värden och 67% för underskattade värden för differensen inom fyraveckorsintervall, tvåskift region 1 (Figur 5).

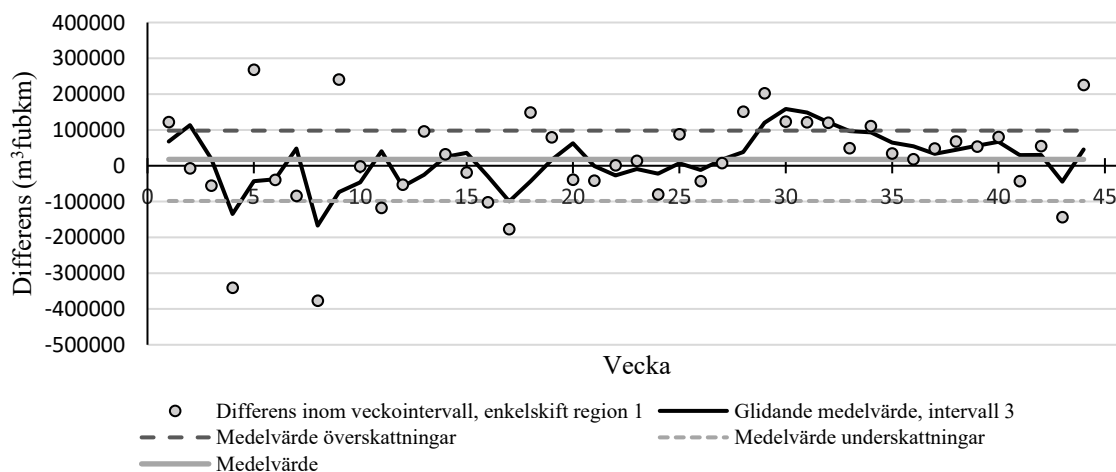


Figur 5. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för fyraveckorsintervaller (under v. 1–44) för samtliga 8 lastbilar i kategorin tvåskift region 1. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de tre föregående fyraveckorsintervallen.



Figur 6. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44 för samtliga 8 lastbilar i kategorin tvåskift region 1. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de två föregående kvartalen.

De glidande medelvärdena visar att modellen både under- och överskattade transportkapaciteten under större delen av studieperioden jämfört med verkligt transportarbete. Under veckorna 27–40 överskattade modellen transportkapaciteten systematiskt. För hela studieperioden gick ej någon systematisk över- eller underskattning att urskilja. För överskattade värden var variationskoefficienten 75% och för underskattade 107% (Figur 7).

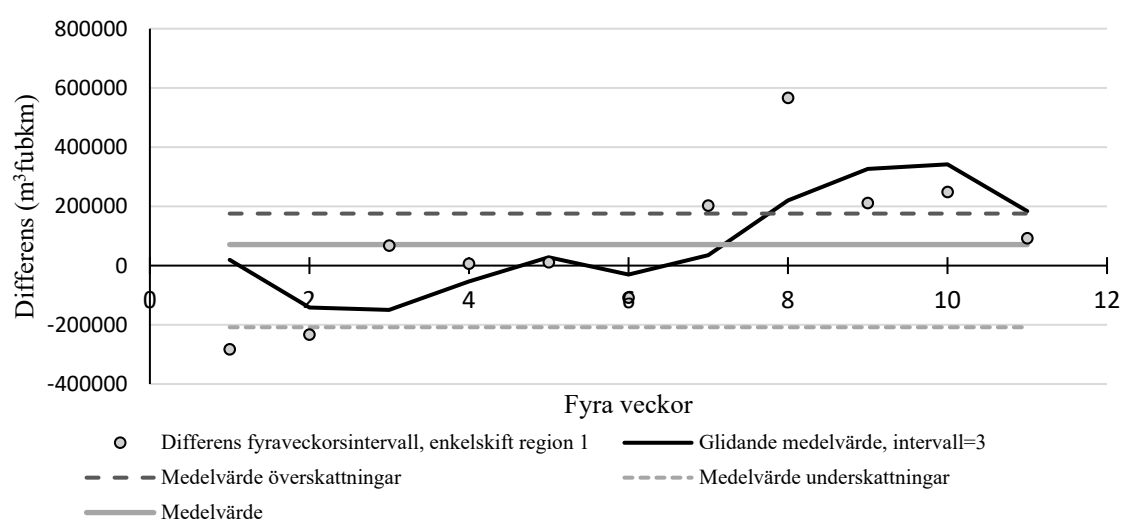


Figur 7. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44 för samtliga 8 lastbilar i kategorin enkelskift region 1. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de tre föregående veckorna.

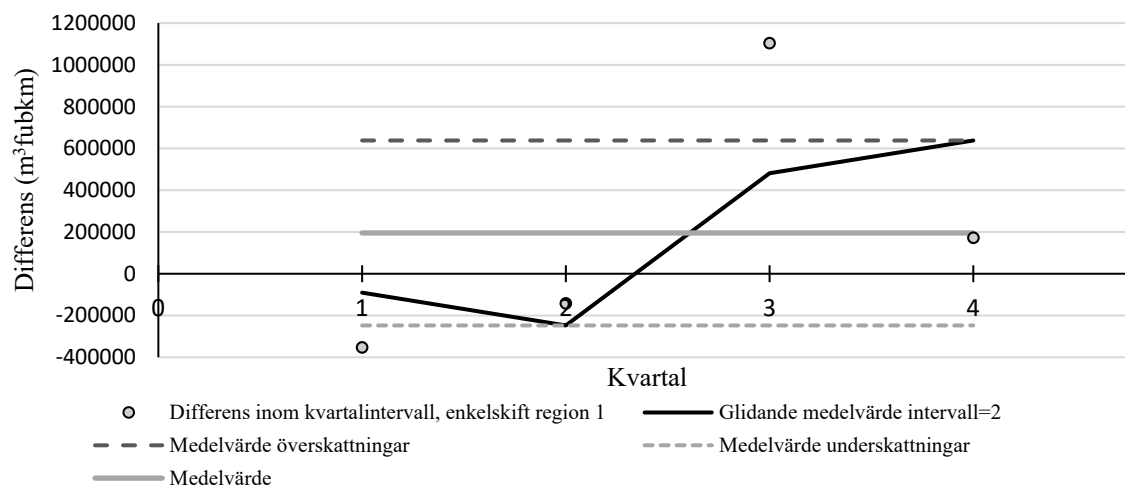


Variationskoefficienten för fyraveckorsintervallerna var 104% för överskattade värden och 43% för underskattade värden (Figur 8). För kvartal var variationskoefficienten 103% för överskattade värden och 60% för underskattade värden (Figur 9).

För fyraveckorsintervallerna och kvartalsintervallerna underskattade modellen transportkapaciteten för enkelskiftsbilar i region 1 under första delen av året för att sedan gå över till att överskatta under kvartal 3 och 4. Det glidande medelvärdet visar att trenden är att modellen överskattar transportkapaciteten för senare delen av studieperioden (Figur 8 och Figur 9).

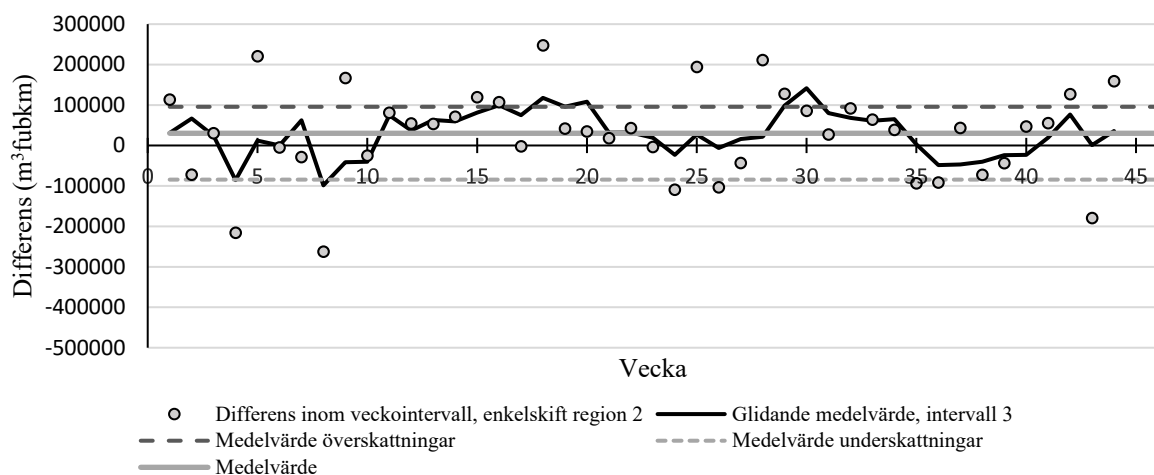


Figur 7. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44 för samtliga 8 lastbilar i kategorin enkelskift region 1. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de tre föregående fyraveckorsintervallen.



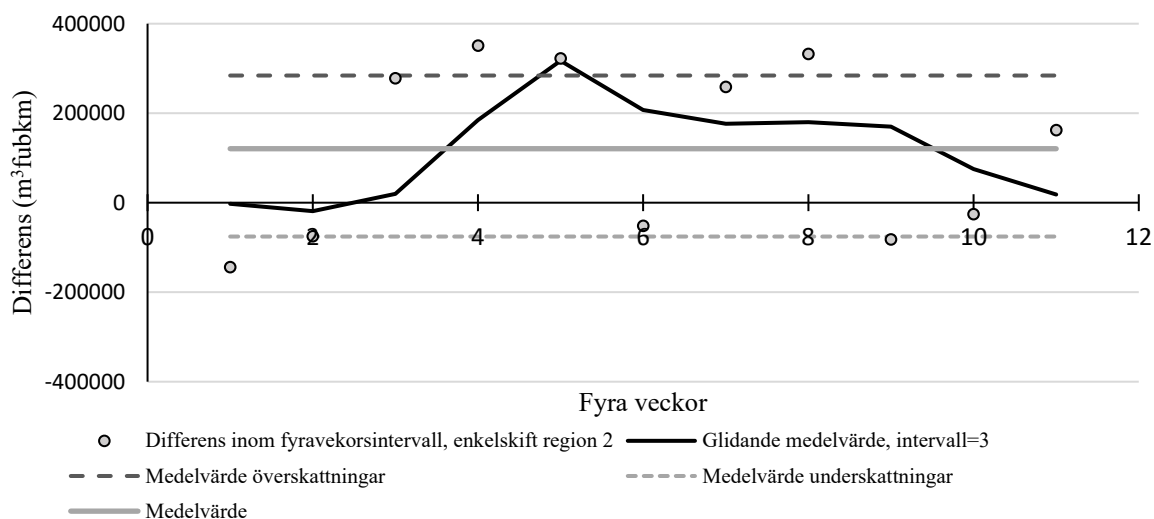
Figur 8. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44 för samtliga 8 lastbilar i kategorin enkelskift region 1. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de två föregående kvartalen.

För enkelskiftsbilar i region 2 var differensen mellan faktiskt transportarbete och beräknad transportkapacitet spridd för perioden per vecka, och ingen tydlig systematisk över- eller underskattning kan utläsas över hela perioden. Det glidande medelvärdet visar att modellen överskattade transportkapaciteten mellan vecka 11–23 och 27–34. För överskattade värden var variationskoefficienten 68% och för underskattade värden var den 91% (Figur 10).



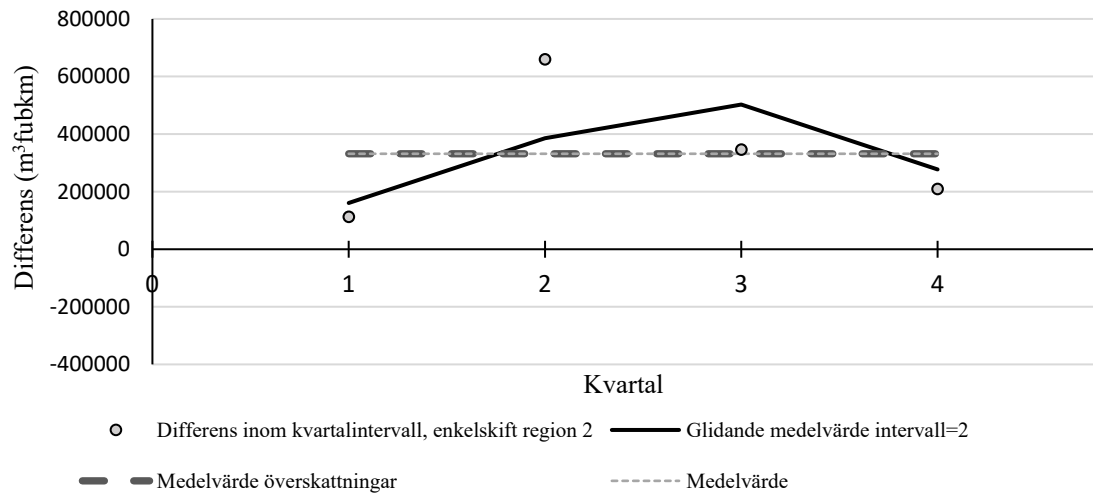
Figur 9. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44 för samtliga 8 lastbilar i kategorin enkelskift region 2. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de tre föregående veckorna.

För tidsintervallet fyra veckor har modellen predikerat transportkapaciteten för enkelskiftsbilar i region 2 med underskattning i början av studieperioden för att sedan övergå mot en överskattning i större delen av studieperioden. Variationskoefficienten är 24% för överskattade värden och 58% för underskattade värden (Figur 11).



Figur 10. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44 för samtliga 8 lastbilar i kategorin enkelskift region 2. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar och underskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de tre föregående fyraveckorsintervallen.

Modellen överskattade transportkapaciteten systematiskt på kvartalsnivå för alla kvartal under studieperioden för enkelskiftsbilar i region 2. Variationskoefficienten är 72% för överskattade värden (Figur 12).



Figur 11. Differensen i transportarbete mellan faktiskt utfört transportarbete och beräknad transportkapacitet under 2018 för vecka 1–44 för samtliga 8 lastbilar i kategorin enkelskift region 2. Medelvärden för hela perioden och för överskattningar, samt glidande medelvärde beräknat som genomsnittlig differens för de två föregående kvartalen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Metoddiskussion

#### 4.1.1 Modell

Att använda sig av Biometrias data har varit en förutsättning för att skapa den matematiska modellen med den metodik som används i denna studie. Om inte transportdata varit tillgänglig hade ett alternativt sätt att undersöka transportkapaciteten varit att använda sig av en tidsstudie likt Holzleitner et al. (2011). Fördelen med att använda transportdata från Biometria är att en stor mängd datapunkter kunnat anskaffats på ett relativt enkelt sätt. För att öka säkerheten i materialet hade det varit lämpligt att komplettera datamaterialet med intervjuer eller enkäter för att säkerställa att lastbilarna körts med den skiftform som de klassats som. Det vill säga att det kan finnas en viss osäkerhet i resultaten med den metod som använts för uppbyggnaden av modellen.

#### 4.1.2 Validering

Den metodik som är vald för valideringen är gjord för att säkerställa modellens riktighet och hur väl den kan förutsäga transportkapaciteten. Genom att jämföra resultatet från modellens beräkning för olika tidsintervall med det verkliga transportarbetet gavs möjlighet att utvärdera hur väl modellen predikterar transportkapaciteten för olika tidsintervall. Att valideringen utfördes på en annan tidsperiod än modellen är byggd på är en förutsättning för att valideringen ska ge ett tillförlitligt resultat.

En svaghet med valideringen är att den genomfördes på samma lastbilar som modellen byggdes på, eftersom det inte ger något resultat över hur modellen beräknar transportkapacitet för andra lastbilar än de som ingick i studien. Detta på grund av att antalet lastbilar i varje kategori var få till antalet. Att använda sig av det glidande medelvärde är ett sätt att jämna ut kortsiktiga fluktuationer och undersöka eventuella trender över tid, därför har det varit en bra metod att visuellt kunna se hur modellen predikterar transportkapaciteten. Konsekvensen av att undersöka differensen mellan beräknad och faktisk transportkapacitet var att det optimala eftersträlvade värdet var noll i differens. Detta skapade problem då ett mått på variationen skulle tas fram, eftersom variation ofta jämför mot medelvärdet. Ju bättre modellen predikterar transportkapaciteten desto lägre blir medelvärdet av avvikelserna, vilket innebär att små avvikelser kommer utgöra stor variation.

## 4.2 Resultatdiskussion

### 4.2.1 Modell och validering

Enligt resultatet utför en tvåskiftsbil i samma region mer transportarbete än en enkelskiftsbil. Anledningen till att det utförda transportarbetet inte är dubbelt så mycket för en tvåskiftsbil beror delvis på att lastbilarna normalt inte kör två skift på fredagar (Bergh 2018, pers. komm). Utförs beräkningar utifrån att varje chaufför normalt kör 9 timmar per skift (Transportstyrelsen, 2019), att en tvåskiftsbil kör 9 skift per vecka och en enkelskiftsbil kör 5 skift per vecka, ger det enbart en ökning av körtiden med 80% mellan enkelskift och tvåskift. Ytterligare en anledning till att inte transportarbetet ökar ännu mer vid tvåskift är att en tvåskiftsbil utnyttjar fler timmar av dygnet vilket innebär att risken för att begränsas av industriernas öppettider ökar med ökad total arbetstid. Begränsningar i öppettider hos mottagande industrier kan innebära långa väntetider vid industrin vilket kan ge en negativ inverkan på lönsamheten för åkerier (Erlandsson, 2008). Om chaufförernas arbetstid går åt till att vänta på att få lossa virke vid industrierna bör också mängden transportarbete minska med långa väntetider, eftersom transportarbete beräknas utifrån transportsträcka och transporterad virkesmängd (Dahlin & Fjeld, 2004).

En enkelskiftsbil i region 2 utförde i medeltal 2,60% mer transportarbete per vecka än en enkelskiftsbil i region 1, vilket kan förklaras av olika medeltransportavstånd (Tabell 7). En lastbil utför ett högre transportarbete vid ett längre transportavstånd

under samma arbetstid (Fjeld & Dahlin, 2017). Vid jämförelse mellan de olika regionerna med hjälp av modellen, var transportkapaciteten högre för region 1 både vid 40 km och vid 160 km (Figur 3). Anledningen till detta förhållande skulle kunna förklaras med olika typer av arbetssätt mellan regioner och olika förutsättningar i transportavstånd. De två vanligaste arbetssätten som används i skogsbruket är självlastande kranbilar och lastbilar som kör i grupp med en separatlastare (Fjeld & Dahlin, 2017). I region 2 är det vanligaste arbetssättet gruppilar och i region 1 kranbilar (Bergh 2018, pers. komm).

För alla kategorier ökade korrelationen med ökande tidsintervall vilket innebär att det positiva linjära sambandet mellan predikterad transportkapacitet och det faktiskt utförda transportarbetet stärks (Tabell 6). Detta betyder att modellen och verkligt transportdata har ett högre positivt samband när modellen tillämpas för analys av kvartalsintervall än vad den har för veckointervall och fyraveckorsintervall. Vid användandet av modellen rekommenderas därför att använda den för kvartalsintervall.

I medeltal överskattade modellen transportarbetet med 3100 m<sup>3</sup>fubkm (5,2%) per vecka och lastbil för alla kategorierna tillsammans, det motsvarar ungefär 31 m<sup>3</sup>fub per vecka vid ett medeltransportavstånd på 100 km (Tabell 7). Approximerat på en verksamhet med 50 lastbilar under 52 veckor och en årsvolym på 2 milj. m<sup>3</sup>fub skulle det innebära en total överkapacitet på ca 80 000 m<sup>3</sup>fub (4%). Enligt Norra Skogsägarna är en överskattning på 5,2% en rimlig nivå för ett beslutsstöd som NETRA, eftersom det i en modell som ska användas i praktiken är för komplext att ta in störningar som ej går att beräkna/förutse (Jonsson 2019, pers. komm).

Modellens överskattning skulle till viss del kunna förklaras av variation i utförda transporter mellan 2017 och 2018 och att inte transportdata för hela året 2018 är med i valideringen. Att variationen mellan åren har en påverkan på modellens resultat styrks av Tabell 8. När valideringsmaterialet rensades från transporter där medeltransportavstånden ligger utanför modell-intervallet predikterades transportkapacitet i medeltal per vecka och kategori med 5,2% överskattning istället för 6,7% överskattning som när materialet är osorterat (Tabell 6 och Tabell 8).

Förklaringsgraden för modellen är 21,64%, vilket innebär att endast 21,64% av modellen kan beskrivas av variablerna i indatat. Att förklaringsgraden är relativt låg, beror på att det saknas fakta att kunna förklara modellen bättre. Modellen är av praktiska skäl byggd med få variabler. Vid skapandet av mer heltäckande modeller för transportproblem finns flera faktorer att ta hänsyn till, t.ex. lastbilstyp, lastvikt, öppettider, skiftbyten och leveranskvoter (Karanta et al., 2000). Sannolikheten för

att lyckas med ett beslutsstöd ökar med ökande stabilitet i driftförhållanden, vid stabila förhållanden fungerar avancerade beslutsstöd bra. Problematiken ligger i att transportarbetet förändras med dagliga förhållanden: vägnas bärighet, uppfyllandet av leveranskvoter och oväntad ökning av efterfrågan (Bergdahl et al., 2003). Av praktiska skäl är modellen inte byggd för att fånga upp dagliga variationer i transportarbetet, det skulle vara för komplext att hantera i denna typ av beslutsstöd. Att bygga för komplicerade modeller gör att det blir svårt att använda, därför kan enklare modeller vara tillräcklig för ändamålet för skogsvägstransporter (Feng & Douglas, 1993). Avsikten vid uppbyggnaden av modellen har inte varit att exakt kunna förutsäga och hantera svängningar i det korta tidsperspektivet, utan avsikten har varit att prediktera transportkapacitet utifrån tillgängliga variabler till en acceptabel nivå.

Variationskoefficienterna var störst för överskattningarna för tvåskiftsbilar för veckointervallen vilket innebär att den relativa variationen i förhållande till medelvärdet av överskattningarna är störst i denna kategori. Lägsta variationskoefficienten som beräknades var för överskattningarna av transportkapaciteten för enelskiftsbilar i region 2 för fyraveckorsintervallen, vilket innebär att den relativa variationen var lägst för den kategorin och det tidsintervallet.

Modellens funktion och säkerhet kan ändras vid andra förutsättningar eller vid förändringar i arbetssätt för de undersökta lastbilarna. Eftersom modellen är konstruerad utifrån Norra Skogsägarnas interna transporter innebär det att det totala transportarbetet per lastbil kan vara ofullständigt. Förmodligen används en del av lastbilarnas totala transportkapacitet till returtransporter hos andra företag än Norra Skogsägarna, vilket ej varit möjligt att undersökas via Norra Skogsägarnas access till VIOL. Om returtransporter hos andra företag utförs av Norra Skogsägarnas transportörer innebär det att modellen har en mindre överskattning av transportkapaciteten än vad resultatet i denna studie visar.

Används modellen på lastbilar med effektivare arbetssätt än de 24 som modellen är validerad mot innebär det att modellen skulle överskatta transportkapaciteten mindre än i denna fallstudie (<5,2%). Om modellen används för lastbilar som har ett mindre effektivt arbetssätt än de 24 lastbilarna hos Norra skogsägarna som ingick i studien skulle modellen överskatta transportkapaciteten mer (>5,2%).

Modellens predikterade transportkapacitet per bil och vecka var 61 100 m<sup>3</sup>fubkm (48 880 tkm) i medel och för det faktiska utförda transportarbetet per bil och vecka 57 300 m<sup>3</sup>fubkm (45 840 tkm) i medel för de tre olika kategorierna (Figur 7). För att jämföra resultat har omräkning mellan m<sup>3</sup>fub till ton gjorts med hjälp av omräkningstalet 0,8 (Bioenergiportalen, 2014). Efter omräkning till tkm kan resultaten



jämföras med andra studier (Francois et al., 2017; Handler et al., 2014). Francois et al. (2017) använde i sina beräkningar en transportkapacitet som vid omräkning ger en transportkapacitet på 46 250 tkm/arbetsdag och Handler et al. (2014) använder indata som vid omräkning ger en kapacitet på 61 800 tkm/vecka. Detta innebär att modellen predikterade transportkapaciteten i medeltal 5,7% högre jämfört med Francois et al. (2017) och 21% lägre jämfört med Handler et al. (2014).

Engdahl (2008) tar upp i sin studie att säsongsvariationen är en betydande faktor för transportkapaciteten, vilket även valideringen i denna studie tyder på (Bilaga 2). Sandahl (2015) visar i sitt examensarbete att det totala utförda transportarbetet var högre vid lågsäsong än vid högsäsong. Detta kan styrkas av det glidande medelvärdet i Figur 1 för tvåskiftsbilar i region 1, men motsägs av de glidande medelvärdena i de andra två regionerna. Att utfört transportarbete går ner under lågsäsong kan förklaras med semesterperiod och generella industristängningar.

En brist i utformningen av modellen är att funktionen för tvåskift i region 2 är skapad utifrån materialet i de tre andra kategorierna. Även data för att validera modellen har saknats vilket innebär att den kategorin inte kunnat validerats, därför går det inte att avgöra om den funktionen är bra eller dålig. Det innebär att vid användning av modellen för tvåskiftsbilar i region 2 bör resultaten tolkas med försiktighet, och det kan rekommenderas att den funktionen valideras om det finns tillgängligt data för att göra det.

Indatamaterialet innehåller en osäkerhet då skiftformen ej är statisk trots att målsättningen var att undersöka lastbilar med så likvärdiga skiftförhållanden som möjligt i respektive kategori. Om exempelvis indatat till modellen för enkelskiftsbilar innehåller en lastbil som körts med tvåskift och har körts med högre transportkapacitet än en enkelskiftsbil, innebär det att modellen överskattar transportkapaciteten för enkelskiftsbilar mer än om inte tvåskiftsbilen varit med i materialet.

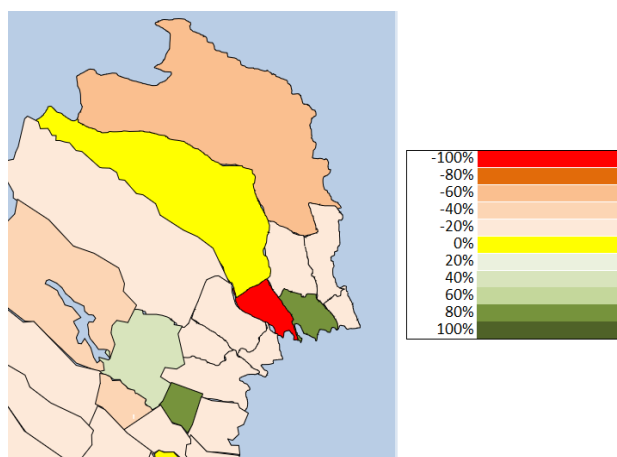
Transportkapacitetsmodellen är uppbyggd utifrån antaganden om att leveransplaner och transportbehov uppfyllts. På grund av detta finns det en osäkerhet om transportbehovet under studieperioden varit uppfyllt eller ej. Har det antagna transportbehovet (faktiska transporter) i studien varit lägre än det verkliga transportbehovet utifrån leveransplaner innebär det att den predikterade transportkapaciteten kan vara lägre än det verkliga behovet och vice versa. Det kan vara en möjlig felkälla till att modellen generellt har underskattat transportkapaciteten i början av året och överskattat i slutet av året. Till exempel kan det vara så att det verkliga transportbehovet utifrån leveransplaner varit lägre än vad det antagna transportbehovet utifrån fak-

tiska transporter varit, hade fallet varit så över året hade modellen predikerat transportkapaciteten med mindre avvikelse i början av året och med större avvikelse i slutet av året. För att kunna veta om och hur detta påverkat resultatet behöver en jämförelse göras mellan leveransplanerna och leveransprecisionen mot dessa. För att undvika detta problem rekommenderas att vid framtida liknande studier samla in data även om leveransprecisionen och justera för det. Det hade möjliggjort beräkningar av det verkliga transportbehovet samt hur mycket det faktiskt utförda transporterna avviker från det verkliga transportbehovet.

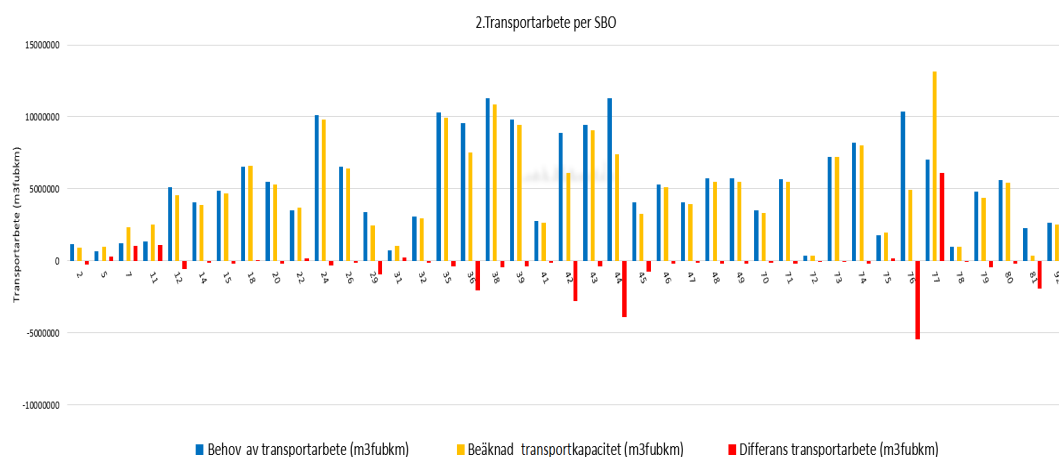
Osäkerheten för modellen ökar vid prediktion av värden utanför modell-intervallet. Utförs beräkningar med modellen på långa medeltransportavstånd blir transportkapaciteten högre med ökande medeltransportavstånd. Detta på grund av modellens positiva linjära samband utan begränsning (Figur 3). I praktiken är det inte realistiskt att transportkapaciteten kan vara oändligt hög för en lastbil under en vecka på grund av begränsningar i antalet tillgängliga arbetstimmar. Enligt Francois et al. (2017) finns en maximal begränsning på körd sträcka per arbetsdag om 500 km i medeltal.

#### 4.2.2 NETRAS nya utformning

De nya delarna som utvecklats i NETRA är till skillnad från Edlund (2014), Mellqvist (2004) och Örtendahl (2001) verk gjorda utan linjärprogrammering. Den nya transportkapacitetsdelen i NETRA utför ingen optimering utan utför beräkningar utifrån resultaten som hämtas från de befintliga optimeringarna. Resultatet från beräkningarna ger användaren stöd för att fatta beslut om föreslagen destinering är praktiskt genomförbara. Resultaten per SBO visas i karta (Figur 13), diagram (Figur 14) och i tabellform. Resultaten per åkeri visas i tabell och diagram (Bilaga 1).



Figur 12. Exempel på visualiseringen i NETRA. Färgerna illustrerar över- respektive underkapacitet i procent i respektive SBO i förhållande till transportbehovet.



Figur 13. Resultatdiagram i NETRA, visar behov av transportarbete (m3fubkm), beräknad transportkapacitet (m3fubkm) och differens i transportarbete (m3fubkm) per SBO. Differens = (beräknad transportkapacitet-behov av transportarbete).

Likt tidigare versioner av NETRA och uppföljningsverktyget TRUPP skapat av Sandahl (2015) så är visualisering i kartbild ett bra sätt att få snabb överblick över resultaten. Användaren av NETRA ges förutom transportbehovet och tillgänglig transportkapacitet även det optimala antalet tvåskiftsbilar per SBO som krävs för att klara av att transportera det teoretiska transportbehovet.

Transportkapacitetsfunktionen som infogats i ursprungliga NETRA använder sig i huvudsak av beräkningar och summeringar med hjälp av den framtagna modellen. Detta skiljer sig mot Francois et al. (2017) där transportkapaciteten istället är en begränsande faktor i optimeringarna. Huvudfokus förutom implementeringen av modellen i NETRA har varit att visualisera resultaten för att användaren lätt ska

kunna få en överblick över hur behovet av transportarbete förhåller sig till tillgänglig transportkapacitet. För vidare beskrivning av den nya funktionen se Bilaga 1.

Jämfört med det senaste examensarbetet gjort om NETRA av Edlund (2014) så har layout och design i NETRA inte förändrats, och inget i den ursprungliga delen har förändrats genom denna studie. En styrka med den nya tillagda delen i NETRA är att en stor del av beslutsstödet fortfarande är automatiserat. Fast funktionaliteten nu är utökad är automatiken vid infogning av SBO:n, nya åkerier och visualisering av resultat bevarat från tidigare version. Den hantering som för användaren kan vara arbetskrävande är att ange hur många lastbilar som verkar inom varje SBO samt vilket skift de normalt körs med. Det blir extra arbetskrävande eftersom en bil kan ansvara för flera SBO områden samtidigt, vilket innebär att en andel av en lastbil, exempelvis en fjärdedels bil, kan vara ansvarig för ett SBO. När användaren väl har angett antal bilar inom varje SBO är fördelen att de ligger kvar till senare användning av beslutsstödet.

NETRA kan med den nya transportkapacitetsdelen användas för transportresursallokering för kontraktering av transportresurser på ett centralt plan. Ofta används decentraliserade lösningar för transportledning, vilket innebär att åkerier har ett geografiskt ansvarsområde med ett primärt ansvar för virkesleveranser (Fjeld & Dahlin, 2017). Oavsett vilken lösning som används kan NETRA användas som stöd för att förutse om transportbehovet kommer täckas av tillgängliga transportresurser.

I likhet med andra beslutsstöd för flödesplanering och transportoptimering så begränsas inte optimeringarna i NETRA av tillgänglig transportkapacitet (Bergdahl, 2002; Forsberg et al. 2005). Däremot är skillnaden med NETRA mot andra beslutsstöd att den tillgängliga transportkapaciteten beräknas vilket kan jämföras mot optimeringsförslagen och ger användaren information om optimeringarna är praktisk genomförbara.

En osäkerhet med både ursprungliga NETRA och nya transportkapacitetsfunktionen är att beräkningarna bygger på skattningar och historiska data. Bland annat för avstånd mellan virkeskälla och mottagare och antalet lastbilar inom respektive SBO, det gör att det kan skilja sig mot verkligheten. Användningsområdet för beslutsstödet NETRA är däremot inte att redovisa en absolut sanning, utan det skall ge användare stöd som är tillräckligt bra för att fatta beslut.

## 4.3 Behov av vidare studier

### 4.3.1 Modell

Det kan finnas ett behov av att öka precisionen i modellen för att anpassa sin transportflotta mer exakt utifrån optimeringarna, men det bör inte göra att användarvänligheten med NETRA försämras genom att bli mer tidskrävande. Exempel på ytterligare studier skulle kunna vara att undersöka specifika perioder över året mer noggrant och på så vis förfinas modellens säkerhet. När valideringen utfördes och indatamaterialet studerades mer noggrant så går det urskilja perioder över året då transportarbetet per vecka sjunker, exempelvis under perioden för vårförfall och under semesterperioden (Bilaga 2). Det motiverar en undersökning om att skapa en ny modell som tar hänsyn till vårförfall/höstförfall och semesterperiod. För att få modellen mer exakt hade faktorer som vägklass, sortimentets betydelse, lastvikt och säsongsvariation i lastvikt varit intressant att undersöka.

Att utföra en liknande studie men under en kortare tidsperiod hade ökat möjligheterna till en mer detaljrik datainsamling. Detta för att säkerställa att lastbilarna verkligen körts med de skiftformer de är kategoriserade till. Det hade dock inte varit praktiskt användbart i denna typ av beslutsstöd med en kortare tidsperiod.

För att göra modellen mer anpassad för praktisk användning skulle begränsningar i den maximalt möjliga transportkapaciteten adderas till modellen. I NETRA finns dock en tillagd funktion för indikation om när beräknad transportkapacitet per bil överskrider maximalt transportarbete i medeltal utifrån utförda transporter 2018. För att göra det mer exakt krävs vidare studier.

Ytterligare studier inom området generellt är att testa modellens funktion på andra geografiska områden alternativt andra företag som använder sig av samma typ av arbetssätt som Norra Skogsägarna.

### 4.3.2 NETRA

För vidareutveckling av NETRA skulle en föreslagen åtgärd vara att göra visualiseringen i kartan enklare för användare att ändra på. Detta för att möjliggöra förändringar av gränser som ej låses till SBO-gränser samt att lättare kunna lägga till eller ta bort SBO-områden.

Ytterligare ett förslag på vidare utveckling är att utöka funktionen med en ny matematisk modell som tar in fler parametrar, t.ex. vägarnas status, topografi, sortiment och lastvikt (Svenson, 2017) utifrån förhållanden inom respektive SBO. Vägarnas status och då specifikt backighet och kurvighet är något som ökar tidsförbrukningen vid transporter. Det hade därför varit intressanta parametrar att studera för en vidare utveckling av beslutstödet NETRA. Ett förslag är att på något sätt koppla NETRA till Biometrias tilläggstjänst Krönt Vägval, där den effektivaste vägen beräknas utifrån vägars förutsättningar. Detta hade också möjliggjort en koppling till medeltransportavståndet vilket också påverkar hur stor andel av transporten som utförs på vägar med sämre vägklass (Svenson, 2017).

Ytterligare en idé är att skapa en funktion för att på ett enkelt sätt ajourhålla den matematiska modellens aktualitet. Detta genom att utifrån transportdata från Biometria kunna skapa nya modeller vartefter förhållanden i lastvikter, arbetssätt m.m. förändras.

Efter att nya versionen av NETRA börjar användas i operativt arbete kommer säkert nya idéer om utveckling att skapas.

## 4.4 Slutsatser

Efter denna fallstudie av rundvirkestransporter med lastbilar i delar av norra Sverige görs följande slutsatser:

- Den implementerade modellen kan med god säkerhet förutsäga behovet av transportkapacitet för rundvirkestransporter med lastbil. I denna fallstudie förutsades behovet av transportkapacitet med en överskattning på 5,2% i medeltal per vecka. Modellen bör kunna användas på andra regioner eller företag med liknande arbetssätt som Norra Skogsägarna och deras transportörer.
- Resultaten från denna fallstudie visar att modellen är mest tillförlitlig vid analyser av kvartalsintervall därefter fyra veckorsintervall. En rekommendation är därför att använda modellen för kvartalsintervall för att öka beräkningarnas tillförlitlighet.

- Vidareutvecklingen av NETRA har resulterat i en transportkapacitetsdel som snabbt ger en överblick över transportresursfördelningen i form av kartvisualisering, diagramvisualisering och i tabellform.
- Transportkapacitetsdelen ger stöd åt användaren för att bedöma huruvida den tillgängliga transportkapaciteten förhåller sig till behovet av transportkapacitet. Den kan användas på två vis:
  1. för att avgöra om affärerna är praktiskt genomförbara med befintlig transportflotta och utifrån det förändra destineringen för att anpassa mot befintlig transportflotta.
  2. för att utifrån den optimala destineringen förändra befintlig transportflotta för att täcka transportbehovet.

## Referenslista

- Andersson, G. & Frisk, M. (2013) Skogsbrukets transporter 2010. Arbetsrapport Nr 791, Skogforsk. Uppsala, Sverige.
- Asmoarp, V. & Davidsson, A. (2016) Skogsbrukets transporter 2014. Arbetsrapport Nr 53, Skogforsk. Uppsala, Sverige.
- Bergdahl, A. (2002) *Olika faktorerers betydelse för potentiell kostnadsbesparing genom optimal destinerings av timmer i Norrland*. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsteknologi /Jägmästarprogrammet (Studentuppsatser nr 53)
- Bergdahl, A., Örtendahl, A. & Fjeld, D. (2003) The economic potential for optimal destination of roundwood in North Sweden- Effects of planning horizon and delivery precision. *Internal Journal of Forest Engineering* vol.14(1), ss.81-88.
- Carlsson, D. & Rönnqvist, M. (2004) Supply chain management in forestry-case studies ad Södra Cell AB. *European Journal of operational research* vol.163(3), ss. 589-616.
- Dahlin, B. & Fjeld, D. (2004) Logistics in forest operations. I: J. Burley, J. Evans & Y. J.A, red. *Encyclopedia of Forest Sciences*. San Diego, United States: Elsevier Science Publishing CO inc, ss.647-648.
- Dykstra, D. (1984) *Mathematical programming for natural resource management*. New York: McGraw-Hill.
- Edlund, B. (2014). *Beslutsstöd för virkeshandel och flödesplanering*, Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning/Jägmästarprogrammet. (Arbetsrapport 425 2014)
- Egghe, L. & Leydesdorff, L. (2009) The relation between Pearson's correlation coefficient  $r$  and Salton's cosine measure. *Journal of the American Society for information science and technology* vol.60(5), ss.1027-1036.
- Ejvegård, R. (2009) *Vetenskaplig metod*. 4:2 red. Lund: Studentlitteratur AB.



- Eliasson, L. (2018) *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2017*. Arbetsrapport Nr 36, Skogforsk. Uppsala, Sverige.
- Engdahl, M. (2008) *Två trailerkoncept för transport av rundvirke hos Stora Enso*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning/Jägmästarprogrammet (Arbetsrapport 227 2008)
- Erlandsson, E. (2008) *Framgångsfaktorer för rundvirkesåkerier i Mellansverige*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skoglig resurshushållning/Jägmästarprogrammet (Arbetsrapport 230 2008)
- Feng, Z. & Douglas, R. A. (1993) Logging truck vehicle performance prediction for efficient resource transportation system planning: computer modelling approach.. *Journal of Forest Engineering* vol.4(2), ss.7-18.
- Fjeld, D. & Dahlin, B. (2017) Nordic logistics handbook: *Forest operations in wood supply*. Sveriges lantbruksuniversitet. Umeå, Sverige.
- Forsberg, M., Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2005) FlowOpt—a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. *International Journal of Forest Engineering* vol.16(2), ss.101-114.
- Francois, J., Moad, K., Bourrières, J. P. & Lebel, L. (2017) A tactical planning model for collaborative timber transport. *IFAC-PapersOnLine*, vol.50(1), ss. 11713-11718.
- Gille, S.-E. opublicerad Gilles kalkylblad
- Handler, R. M., Shonnard, D. R., Lautala, P., Abbas, D. & Srivastava, A. (2014) Environmental impacts of roundwood supply chain options in Michigan: life-cycle assessment of harvest and transport stages. *Journal of Cleaner Production*, vol.76, ss.64-73.
- Hedlinger, C., Nilsson, B. & Fjeld, D. (2005) Service divergence in swedish round wood transport. *International Journal of Forest Engineering*, vol.16(2), ss.153-166.
- Holzleitner, F., Kanzian, C. & Stampfer, K. (2011) Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager. *European Journal of Forest Research*, vol.130(2), ss.293-301.
- Karanta, I., Jokinen, O., Mikkola, T. Savola, J. & Bounsay, C. (2000) Requirments for a vehicle routing and scheduling system in timber transport. I: K. Sjöström, red. *Logistics in the forest sector*. Helsinki: Timber logistics club, ss. 235-250.
- Linnainmaa, S., Savola, J. & Jokinen, O. (1992) *EPO: A Knowledge based system for wood procurement management*, u.o.: VTT Information Technology.
- Mellqvist, P. (2004) *Analys av massaveds samt timmerflöde med transportoptimeringsmodellen NETRA*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel/Jägmästarprogrammet (Studentuppsatser nr 69)

Samuels, M., Witmer, J. & Schaffner, A. (2003) *Statistics for the life sciences*. 2:a red. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Sandahl, A. (2015) *TRUPP - Modell för uppföljning av åkeriernas rundvirkestransporter hos Norra Skogsägarna*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi/Jägmästarprogrammet (Arbetsrapport 10 2015)

Shen, Z. & J. Sessions. (1989) *Log truck scheduling by network programming*. *Forest Products Journal*. vol.39(10), ss.47–50.

Svenson, G. (2017) *Optimized route selection for logging trucks, improvements to calibrated route finder*, Diss.Umeå: Swedish University of Agricultural Sciences.

Örtendahl, A. (2001) *Analys av massavedsflöden med transportoptimeringsmodellen NETRA*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsskötsel/Skogsvetarutbildningen (Studentuppsatser nr 50)

### **Personlig kommunikation**

Bergh, Jörgen. Logistiker, Norra Skogsägarna, Umeå, Sverige (2018).

Jonsson, Patrik. Marknadschef, cellulosafiber/biobränsle, Norra Skogsägarna, Umeå, Sverige (2018).

### **Internetkällor**

Bioenergiportalen (2014) *Bioenergiportalen*. [Online]  
Available at: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=6851&m=1773&page=Omrakningstal> [Använd 8 Feb 2019].

Norra Skogsägarna (2018) *Årsberättelse 2017*. [Online]  
Available at: <https://www.norra.se/om-norra/koncernen/fakta-och-siffror> [Använd 6 Maj 2018].

Trafikanalys, 2017. Lastbilstrafik 2016 Swedish national and international road goods transport 2016. [Online] Available at: [https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/lastbilstrafik/2017/statistikblad\\_lastbilstrafik\\_2017.pdf](https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/lastbilstrafik/2017/statistikblad_lastbilstrafik_2017.pdf) [Använd 22 september 2018].

Transportstyrelsen (2019) *Transportstyrelsen*. [Online]  
Available at: <https://transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Kor--och-vilotider/regler-om-kor--och-vilotider/> [Använd 27 januari 2019].

## Bilaga 1

Bilagan syftar till att redovisa transportkapacitetsmodellen i NETRA och hur användare går tillväga för att använda beslutsstödet.

Användaren av NETRA anger i fliken ”Timmerbilar” antalet lastbilar av respektive skiftform och vilken region de tillhör. Region går att ange för SBO:n utanför regionernas geografiska områden (Figur 1).

SBO och åkeri hämtas automatiskt från ursprungliga NETRA utifrån de uppgifter som angetts i fliken ”Definitioner” (Figur 1). Efter att användaren angett uppgifter i fliken ”Timmerbilar” är transportkapacitetsdelen redo för optimering genom att använda ursprungliga funktioner i NETRA.

| Ange antal bilar per SBO (tvåskift eller enkelskift), samt ange region |       |                      |                        |        |
|--|-------|----------------------|------------------------|--------|
| SBO  | Åkeri | Antal bilar tvåskift | Antal bilar enkelskift | Region |
| 2 Arjeplog   | 1     | 0,50                 |                        | 2      |
| 5 Arvidsjaur   | 1     | 1,00                 |                        | 2      |
| 7 Jörn   | 1     | 0,50                 |                        | 2      |
| 8 Byske  | 2     |                      | 3                      | 1      |
| 10 Kågedalen   | 2     |                      | 1                      | 1      |
| 11 Malå  | 2     |                      | 2                      | 1      |
| 12 Norsjö  | 1     | 1,00                 |                        | 1      |
| 14 Skellefteå Norra  | 1     | 0,20                 |                        | 1      |
| 15 Skellefteå Södra  | 2     | 1,00                 |                        | 1      |
| 18 Burträsk  | 2     | 0,25                 |                        | 1      |
| 20 Lövånger  | 2     |                      | 1                      | 1      |
| 22 Nysätra   | 3     |                      | 0,25                   | 1      |
| 23 Lycksele  | 3     |                      | 0,5                    | 1      |
| 24 Lycksele  | 3     |                      | 1                      | 1      |
| 26 Vindeln   | 4     |                      | 1                      | 1      |
| 29 Bygdeå  | 4     |                      | 3                      | 1      |
| 31 Sävar   | 4     |                      | 4                      | 1      |
| 32 Umeå  | 5     |                      | 1                      | 1      |
| 35 Dorotea/Åsele   | 5     |                      | 1                      | 1      |
| 36 Vännäs  | 5     |                      | 1                      | 1      |
| 37 FEL, finns ej kvar!   | 6     |                      | 0                      | 1      |
| 38 Storuman  | 6     | 1,00                 |                        | 1      |
| 39 Vilhelmina  | 7     |                      | 1                      | 1      |
| 41 Sorsele   | 7     | 1,00                 |                        | 1      |

Region

1

2

Tillbaka

Start

Definitioner

TransportAvtal

Järnvägskostnad

Prislista

Volym

Levplan

Timmerbilar

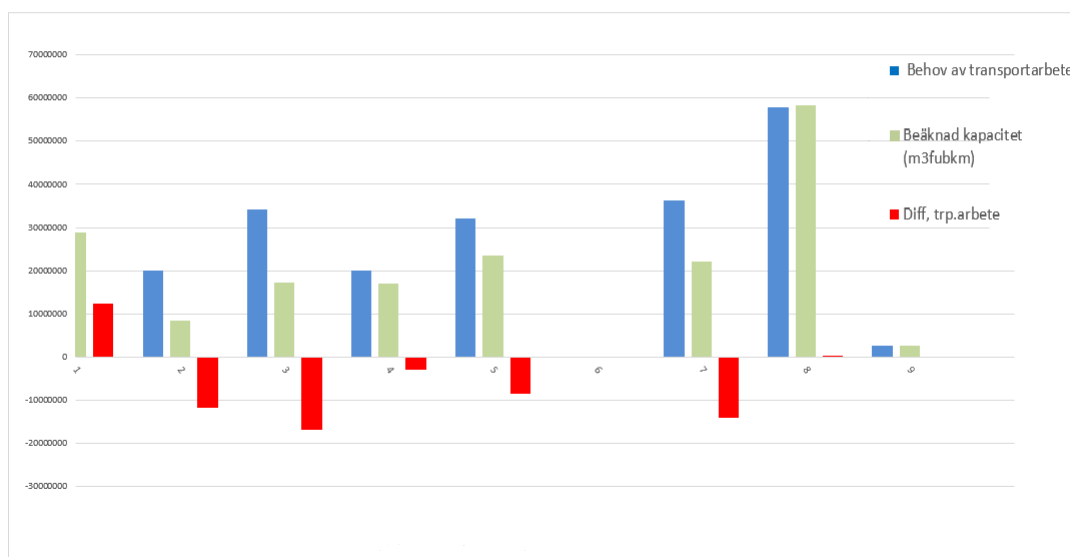
Figur 1. Fliken ”Timmerbilar” i NETRA, här anger användaren uppgifter om timmerbilarnas geografiska placering, antalet enkel respektive tvåskiftsbilar och region.

Efter att optimeringar av alla sortiment genomförts kan resultaten från transportkapacitetsmodellen studeras i fliken "Resultat Totalt Transportarbete". Första steget är att trycka på knappen "Uppdatera" för att de nya uppgifterna ska sorteras och visualiseras. Resultaten redovisas i grunden i tabellform men för att göra det enklare för användare att få en överblick redovisas delar av resultat också i diagram och i karta (Figur 2 och Figur 4).

"Beräknad kapacitet" beräknas i nya delen av NETRA med hjälp av ekvation (2) för varje SBO. "Behov av transportkapacitet" beräknas genom att volym och medeltransportavstånd för respektive sortiment hämtas från ursprungliga NETRA och multipliceras och summeras för respektive SBO. "Differens Transportarbete" beräknas som:

$$\text{Differens transportarbete (m3fubkm/SBO)} = \text{Beräknad transportkapacitet (m3fubkm/SBO)} - \text{Behov av transportkapacitet (m3fubkm/SBO)}$$

Eftersom varje SBO har ett ansvarigt åkeri gör summeringar också per åkeri. Visualisering av resultaten per åkeri redovisas i tabell och i diagramform, där behovet av transportarbete, tillgänglig transportkapacitet och differens transportarbete visas. Differensen mellan beräknad transportkapacitet och behovet av transportarbete anges som röda staplar. Visar de röda staplarna ett negativt värde innebär det att de åkeriet har för lite transportkapacitet i förhållande till behovet av transportarbete utifrån NETRAS optimeringsförslag (Figur 2).



Figur 2. Diagram som visar transportbehovet (m3fubkm) och tillgänglig transportkapacitet (m3fubkm) per åkeri. Röda staplar visar differensen (m3fubkm) mellan den tillgängliga transportkapaciteten och behovet av transportarbete.

#### 4.Transportkapacitet per åkeri

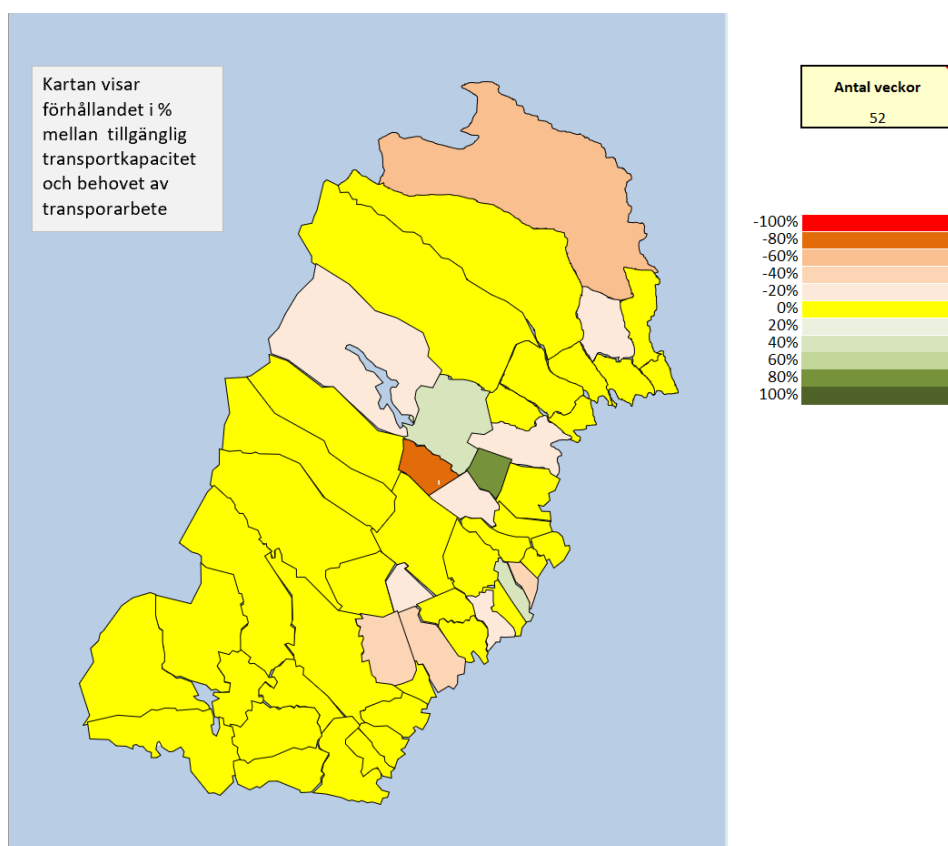
| Åkeri | Behov av transportarbete (m3fubkm) | Beräknad transportkapacitet (m3fubkm) | Differens transportkapacitet (m3fubkm) | Procentuell differens |
|-------|------------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------|
| A     | 13575220                           | 15168689                              | 1593469                                | 12%                   |
| B     |                                    |                                       |  |                       |
| C     | 20436551                           | 20285644                              | -150907                                | -1%                   |
| D     | 33984945                           | 32761474                              | -1223470                               | -4%                   |
| F     | 19950691                           | 17936668                              | -2014023                               | -10%                  |
| G     | 32000341                           | 26868746                              | -5131596                               | -16%                  |
| H     | 36263709                           | 31427899                              | -4835810                               | -13%                  |
| I     | 57914181                           | 55548723                              | -2365458                               | -4%                   |
| J     | 2650518                            | 2548575                               | -101943                                | -4%                   |

Figur 3. Exempel på en resultat-tabell från transportkapacitetsdelen i NETRA. Resultaten visas per åkeri. Procentuell differens i figuren beräknas som: (Beräknad transportkapacitet (m3fubkm)/Behov av transportarbete (m3fubkm)-1).

Kartan visar olika färger beroende på hur kvoten i procent förhåller sig mellan tillgänglig transportkapacitet och behovet av transportarbete. Kvoten är beräknat som:

$$\text{Kvoten}(\%) = \frac{\text{differens transportarbete (m3fubkm)}}{\text{behov av transportarbete (m3fubkm)}} * 100$$

I kartan finns 11 olika klasser, och den beräknade kvoten avrundas till närmaste klass nedanför aktuellt värde (Figur 4). För att köra makrot till kartan används knappen ”uppdatera”. Makrot ska användas varje gång förändringar har gjorts i fliken ”timmerbilar”, vid förändring av optimeringsperiodens längd eller om optimering i ursprungliga delen av NETRA har utförts.



Figur 4. Visualisering i karta för att få en överblick över olika parametrar i transportkapacitetsdelen i NETRA. Optimeringsperiodens längd anges i veckor i ljusgula rutan.

## Bilaga 2.

*Tabell 1. Faktiskt transportarbete och beräknat transportkapacitet för de 24 lastbilarna i materialet fördelat per kategori. Materialet är summerat på veckonivå för perioden v.1–44, 2018*

| Vecka | Tvåskift region 1 |          | Enkelskift region 1 |          | Enkelskift region 2 |          |
|-------|-------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
|       | Faktiskt          | Beräknat | Faktiskt            | Beräknat | Faktiskt            | Beräknat |
| 1     | 400278            | 617278   | 314145              | 435626   | 251873              | 365333   |
| 2     | 572704            | 603655   | 436721              | 429225   | 422798              | 350549   |
| 3     | 636064            | 601943   | 418159              | 362285   | 362266              | 392865   |
| 4     | 980451            | 596928   | 742247              | 401051   | 579838              | 364155   |
| 5     | 186742            | 609609   | 147155              | 415047   | 116237              | 336995   |
| 6     | 673707            | 611042   | 444814              | 405233   | 412585              | 407739   |
| 7     | 604200            | 605188   | 492358              | 407726   | 416866              | 388287   |
| 8     | 1005350           | 598446   | 784718              | 407662   | 591194              | 328904   |
| 9     | 191651            | 600772   | 176830              | 417485   | 178075              | 345085   |
| 10    | 696888            | 603074   | 417310              | 415308   | 327060              | 302270   |
| 11    | 595125            | 602653   | 542124              | 424330   | 290538              | 371751   |
| 12    | 603000            | 600728   | 475904              | 422637   | 341159              | 395807   |
| 13    | 404020            | 611019   | 265588              | 361357   | 354792              | 407969   |
| 14    | 501686            | 600440   | 380123              | 411943   | 323298              | 394519   |
| 15    | 576124            | 603561   | 422873              | 403637   | 324610              | 443958   |
| 16    | 500543            | 595694   | 508004              | 405815   | 348758              | 456072   |
| 17    | 623518            | 601884   | 586345              | 409107   | 495056              | 492995   |
| 18    | 324121            | 605090   | 269804              | 418353   | 231621              | 479417   |
| 19    | 346598            | 608486   | 341867              | 420853   | 314471              | 356211   |
| 20    | 639250            | 620942   | 457783              | 418683   | 508005              | 542929   |
| 21    | 689039            | 609966   | 455681              | 413653   | 402088              | 420275   |
| 22    | 582260            | 601145   | 414884              | 415628   | 472127              | 515342   |
| 23    | 575602            | 601265   | 413580              | 427062   | 493869              | 490068   |
| 24    | 732739            | 606681   | 503324              | 422972   | 435979              | 326576   |
| 25    | 488387            | 596013   | 337033              | 424844   | 226434              | 420710   |
| 26    | 645482            | 608513   | 462364              | 418946   | 503716              | 400242   |
| 27    | 656624            | 614565   | 412237              | 419421   | 421362              | 378051   |
| 28    | 450193            | 466463   | 269570              | 420363   | 194545              | 405813   |
| 29    | 219309            | 464315   | 191953              | 393854   | 141248              | 268956   |
| 30    | 183294            | 541523   | 238747              | 361799   | 158090              | 243833   |
| 31    | 64124             | 288621   | 141838              | 262926   | 67767               | 94864    |
| 32    | 321127            | 595595   | 233756              | 353766   | 200860              | 292802   |
| 33    | 653841            | 600379   | 310045              | 358814   | 355872              | 419816   |
| 34    | 545034            | 618787   | 308513              | 419024   | 425360              | 464111   |

|             |          |          |          |          |          |          |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 35          | 670670   | 616304   | 282940   | 317141   | 499987   | 406606   |
| 36          | 663198   | 599602   | 359228   | 376941   | 503828   | 412560   |
| 37          | 632173   | 610189   | 315968   | 363859   | 368703   | 412276   |
| 38          | 637131   | 603352   | 346277   | 413831   | 424271   | 351870   |
| 39          | 577246   | 613642   | 363519   | 416735   | 426146   | 382432   |
| 40          | 634001   | 619547   | 225758   | 305633   | 324648   | 371545   |
| 41          | 627945   | 625888   | 402062   | 358544   | 304424   | 359612   |
| 42          | 758444   | 617958   | 366604   | 421095   | 327730   | 454847   |
| 43          | 1046669  | 611241   | 552808   | 408692   | 597956   | 418852   |
| 44          | 211882   | 531059   | 72809    | 298242   | 142059   | 300959   |
| Summa       | 24328432 | 25961044 | 16606370 | 17387151 | 15610169 | 16936830 |
| Medel       | 552919   | 590024   | 377418   | 395163   | 354777   | 384928   |
| SD          | 213060   | 57296    | 144599   | 39188    | 132255   | 77381    |
| Korrelation | 0,514    |          | 0,473    |          | 0,542    |          |
| Differens** | 6,7%     |          | 4,7%     |          | 8,5%     |          |

\*Medel=medelvärde per vecka för varje kategori inkluderande åtta bilar i varje kategori

\*\*Differensen är beräknad med summan av (beräknad transportkapacitet/faktisk transportarbete)

*Tabell 2. Faktiskt transportarbete och beräknad transportkapacitet för de 24 lastbilarna i materialet fördelat per kategori. Materialet är summerat per fyra veckor för perioden v.1–44, 2018*

| Period | Tvåskift region 1 |          | Enkelskift region 1 |          | Enkelskift region 2 |          |
|--------|-------------------|----------|---------------------|----------|---------------------|----------|
|        | Faktiskt          | Beräknat | Faktiskt            | Beräknat | Faktiskt            | Beräknat |
| 1      | 2589497           | 2419804  | 1911271             | 1628187  | 1616776             | 1472902  |
| 2      | 2469999           | 2424285  | 1869045             | 1635669  | 1536882             | 1461925  |
| 3      | 2086664           | 2407227  | 1612168             | 1679761  | 1136833             | 1414914  |
| 4      | 1982373           | 2410714  | 1576588             | 1582753  | 1351458             | 1702518  |
| 5      | 1933487           | 2436402  | 1655799             | 1666996  | 1549153             | 1871552  |
| 6      | 2579639           | 2419057  | 1787469             | 1679314  | 1804063             | 1752261  |
| 7      | 2240685           | 2285555  | 1481204             | 1683574  | 1346056             | 1604816  |
| 8      | 787854            | 1890054  | 806295              | 1372345  | 567965              | 900455   |
| 9      | 2532744           | 2435072  | 1260726             | 1471920  | 1785047             | 1703093  |
| 10     | 2480550           | 2446729  | 1251522             | 1500059  | 1543767             | 1518122  |
| 11     | 2644939           | 2386145  | 1394284             | 1486573  | 1372169             | 1534270  |

*Tabell 3. Faktiskt transportarbete och beräknad transportkapacitet för de 24 lastbilarna i materialet fördelat per kategori. Materialet är summerat per kvartal för perioden v.1–44, 2018*

| Tvåskift region 1 | Enkelskift region 1 | Enkelskift region 2 |
|-------------------|---------------------|---------------------|
|-------------------|---------------------|---------------------|



| <u>Kvartal</u> | <u>Faktiskt<br/>(m<sup>3</sup>fubkm)</u> | <u>Beräknat<br/>m<sup>3</sup>fubkm</u> | <u>Faktiskt<br/>(m<sup>3</sup>fubkm)</u> | <u>Beräknat<br/>m<sup>3</sup>fubkm</u> | <u>Faktiskt<br/>(m<sup>3</sup>fubkm)</u> | <u>Beräknat<br/>m<sup>3</sup>fubkm</u> |
|----------------|--|--|--|--|--|--|
| 1              | 7550180                                  | 7862334                                | 5658072                                  | 5304974                                | 4645282                                  | 4757710                                |
| 2              | 7225348                                  | 7859681                                | 5553666                                  | 5411496                                | 5080032                                  | 5739315                                |
| 3              | 6273964                                  | 7233336                                | 3774591                                  | 4878475                                | 4188038                                  | 4533990                                |
| 4              | 3278940                                  | 3005692                                | 1620042                                  | 1792206                                | 1696817                                  | 1905815                                |

### Bilaga 3

#### Regression Equation

| Skift      | Region |                 |                                       |
|------------|--------|-----------------|---------------------------------------|
| Enkelskift | Ett    | Transportarbete | = 38977 + 162,9 Medeltransportavstånd |
| Enkelskift | Två    | Transportarbete | = 30108 + 162,9 Medeltransportavstånd |
| Tvåskift   | Ett    | Transportarbete | = 63195 + 162,9 Medeltransportavstånd |
| Tvåskift   | Två    | Transportarbete | = 54326 + 162,9 Medeltransportavstånd |

Figur 5. Matematiska funktioner från kovariansanalysen.